

*Hochschule Aalen*



# **Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit von monokular bzw. binokular mit dem Zyklofusionstest bestimmten zylindrischen Refraktionswerten**

Zugelassene Abschlussarbeit an der Hochschule Aalen, Studiengang Augenoptik und Hörakustik  
zur Erlangung des akademischen Grades Bachelor of Science Augenoptik

vorgelegt von  
Melanie Kempf

Tag der Einreichung:

15.04.2015

Prüfer: Prof. Dr. Annemarie Buser  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Ralf Michels

## Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Bachelorthesis selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine andere als die angegebene Literatur benutzt habe. Alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen, wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen meiner Arbeit, sind besonders gekennzeichnet. Diese Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

## **Danksagung**

Zunächst möchte ich mich an dieser Stelle bei allen Probanden und Helfern bedanken, die sich für die Anfertigung dieser Bachelorthesis zur Verfügung gestellt und mich bei der Erstellung unterstützt haben.

Allen voran bedanke ich mich bei meiner Betreuerin Frau Prof. Dr. Annemarie Buser für die unkomplizierte, unentwegt freundliche und hilfreiche Betreuung. Durch kritisches Hinterfragen, gab sie mir immer hilfreiche Anregungen. Vielen Dank für die Geduld, Zeit und Mühen, die Sie in meine Arbeit investiert haben.

Daneben gilt mein Dank meinem Zweitbetreuer Herrn Dipl.-Ing. Ralf Michels. Herzlichen Dank für die vielen fachkundigen Tipps und die geduldige Beantwortung meiner Fragen.

Ebenfalls bedanke ich mich bei Frau Birgit Emde, die mir die Räumlichkeiten der „Brillenfabrik“ für meine Messungen zur Verfügung gestellt hat. Weiterhin war sie mir auch bei der Rekrutierung der Probanden eine große Hilfe.

Abschließend möchte ich mich bei meiner Familie und besonders bei meinen Eltern bedanken, die mich während des gesamten Studiums nicht nur finanziell sondern auch moralisch unterstützt haben. Sie standen mir stets mit Rat und Tat zur Seite.

## Zusammenfassung

Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wurden bei 41 Probanden sowohl objektive als auch subjektive Refraktionsbestimmungen durchgeführt. Bei den Probanden wurde die klassische monokulare Refraktionsbestimmung mit dem Kreuzzylinder durchgeführt. Im Anschluss an diese Messung, wurde ein monokularer Feinabgleich unter binokularen Bedingungen für Sphäre, Zylinder und Achse am Zyklolfusionstest durchgeführt. Ziel ist es zu prüfen, ob zum einen die monokulare Refraktion unter binokularen Bedingungen am Zyklolfusionstest ein gleichwertiges Verfahren zur Refraktionsbestimmung ist wie die monokulare Refraktion und zum anderen ob sich unter binokularen Bedingungen eine andere Zylinderachse ergibt wie unter monokularen. Zu Beginn der Arbeit werden zunächst die Grundlage zum Zyklolfusionstest und der Aufbau des Testes erläutert. Zusätzlich wird in den Methoden die Durchführung der Messung erläutert. In der Auswertung der Ergebnisse wurde besonders auf die Zylinderachse und -stärke geachtet. Hier ergaben sich zwischen den beiden Messverfahren leicht unterschiedliche Refraktionen. Im ersten Messdurchgang ergab sich für die Differenz im sphärischen Äquivalent eine 95% Übereinstimmungsgrenze von  $\pm 0,43$  dpt und im zweiten Messdurchgang von  $\pm 0,29$  dpt um die mittlere Refraktion. Die beiden Messmethoden unterscheiden sich daher nicht relevant voneinander. In 72% der Fälle führten beide Messmethoden zur gleichen Visusstufe. Beim wiederholten Durchführen der Messung wurde in 77% der Fälle die gleiche Visusstufe erreicht. Des Weiteren ergab sich für die beiden Verfahren eine ähnliche Reproduzierbarkeit. Bei der binokularen Messung ergab sich für die Differenz im sphärischen Äquivalent eine 95% Übereinstimmungsgrenze von  $\pm 0,37$  dpt und bei der monokularen Messung von  $\pm 0,39$  dpt um die mittlere Abweichung. Um die Handhabung und die Anwendbarkeit interpretieren zu können wurden zum einen die Dauer der Messungen mit einander verglichen und zum anderen die Probanden nach der Messung zu ihrer persönlichen Meinung befragt. Für die Messung am Zyklolfusionstest ergab sich eine Prüfdauer von ca. 10 Minuten. 56% der Probanden empfanden die Beurteilbarkeit während der monokularen Refraktion am einfachsten und angenehmsten. Für 15% war die Beurteilung am Zyklolfusionstest einfacher und die restlichen 29% konnten keinen Unterschied in der Beurteilung feststellen. Anschließend wird in der Diskussion auf Komplikationen während der Messung anhand von Einzelfällen eingegangen und mögliche Fehlerquellen werden aufgezeigt. Abschließend ist festzustellen, dass der Zyklolfusionstest eine neue Messmethode ist, die im Wesentlichen die gleichen Ergebnisse und eine gleich gute Reproduzierbarkeit wie die klassische monokulare Refraktion aufweist und in Zukunft mit in den Refraktionsablauf integriert werden kann.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Erklärung .....</b>	<b>II</b>
<b>Danksagung .....</b>	<b>III</b>
<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>IV</b>
<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>V</b>
<b>1. Einleitung.....</b>	<b>7</b>
<b>2. Grundlagen .....</b>	<b>8</b>
2.1 Die Grundlage des Zyklolfusionstestes .....	8
2.2 PolaSkop3D .....	8
2.3 Voraussetzungen für den subjektiven Abgleich.....	11
2.4 Prüfung auf eine Verrollung mit dem Maddoxzylinder .....	11
2.5 Beschreibung der geprüften Refraktionsmethode .....	12
2.6 DIN EN ISO 21987 .....	15
<b>3. Zielsetzung.....</b>	<b>16</b>
<b>4. Material und Methode .....</b>	<b>16</b>
4.1 Probanden .....	16
4.2 Objektive Refraktion .....	17
4.3 Binokularer Abgleich am Zyklolfusionstest.....	17
4.4 Ablauf der Messungen .....	18
4.5 Der Protokollbogen .....	20
4.6 Auswertung .....	22
<b>5. Ergebnisse .....</b>	<b>25</b>
5.1 Probanden .....	25
5.2 Prüfung auf Verrollung mit dem Maddoxzylinder .....	26
5.3 Vergleich der Refraktionsergebnisse .....	27
5.4 Reproduzierbarkeit der Messungen .....	32
5.5 Visus .....	36
5.6 Befragung der Probanden .....	37
5.7 Dauer der Messung .....	38
<b>6. Diskussion.....</b>	<b>39</b>
6.1 Erläuterung der Ergebnisse .....	39
6.1.1 Prüfung auf Verrollung mit dem Maddoxzylinder .....	39
6.1.2 Vergleich der Refraktionsergebnisse .....	41
6.1.3 Reproduzierbarkeit.....	45

---

6.1.4	DIN EN ISO 21987 .....	47
6.1.5	Visus .....	47
6.1.6	Befragung der Probanden .....	48
6.1.7	Dauer der Messung .....	49
6.2	Beschreibung von Komplikationen anhand von Einzelfällen.....	49
6.3	Fehlerquellen .....	52
<b>7.</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>54</b>
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>55</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>57</b>
	<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>58</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>59</b>

## 1. Einleitung

Der binokulare Abgleich hat seinen festen Platz in der Refraktion. Jedoch wurde bisher nur die Sphäre unter binokularen Bedingungen abgeglichen. Der binokulare Feinabgleich der Sphäre erfolgt um ein Refraktionsgleichgewicht zwischen dem rechten und linken Auge herzustellen. Ist dieses erreicht, liegen die Fernpunkte beider Augen in einer Ebene. Des Weiteren ist der Abgleich eine Sicherung gegen Fehler, die durch die Akkommodation während der Messung verursacht werden können. [1] Die Zylinderstärke und Achslage des Zylinders wurden bisher nur monokular abgeglichen. Der Zylinderachse liegt jedoch die Annahme zugrunde, dass sich die Augen bei der monokularen Prüfung in Ruhestellung befinden und unter binokularen Bedingungen durch Fusionsreize verrollen. Dies würde bedeuten, unter binokularen Bedingungen ergibt sich eine andere Achslage des Zylinders, wie unter monokularen. Demnach ist es wichtig, alle Werte wie Sphäre, Zylinderstärke und -achse binokular abzugleichen.

Im Laufe der Jahre wurden immer wieder Sehteste entwickelt, die die Bestimmung von Achse und Zylinderstärke unter binokularen Bedingungen ermöglichen sollten. Einer der ersten Tests wurde von Grolmann entwickelt. 2001 entwickelte dann Dieter Schendel einen Sehtest der einen binokularen Abgleich von Zylinderstärke und -achse binokular ermöglichte. Schendel stellte bei 8 % seiner Klienten Veränderungen in der Zylinderstärke im Bereich von 0,25 dpt und in der Zylinderachse im Bereich von 5 - 10 ° fest. Die Ergebnisse wurden jedoch nie durch eine Studie belegt oder aufgegriffen. Außerdem liegen keine genauen Fallzahlen vor. [2]

2012 wurde der Astigmatismustest nach Schendel neu aufgegriffen und weiterentwickelt. Aus dieser Weiterentwicklung entstand der Zyklofusionstest. Im Gegensatz zum binokularen Astigmatismustest nach Schendel, weist der Zyklofusionstest eine periphere Verriegelung auf, wodurch Verrollungsfehler eher aufgedeckt werden sollen. Erste Erfahrungen zeigen, dass sich bei 50 % der Refraktionen eine um bis zu zehn Grad andere Korrektionsachse, als unter monokularen Bedingungen, ergibt. [3]

In der vorliegenden Arbeit soll der Zyklofusionstest näher betrachtet werden. Es werden zahlreiche Refraktionen mit und ohne binokularen Abgleich von Zylinderstärke und Zylinderachse verglichen. Dadurch soll ermittelt werden, inwieweit die Zylinderstärke und Achslage zwischen der monokularen Messung und dem binokularen Abgleich am Zyklofusionstest differieren. Durch das Wiederholen der Messungen kann auch die Reproduzierbarkeit der beiden Verfahren beurteilt und verglichen werden. Des Weiteren wird die Vorgehensweise am Zyklofusionstest näher erläutert und anhand einer Befragung der Probanden wird die Akzeptanz des Zyklofusionstestes geprüft.

## 2. Grundlagen

Im folgenden Kapitel soll die verwendete Refraktionsmethode und deren Durchführung näher erläutert werden. Es wird vorausgesetzt, dass vor jeder subjektiven Refraktion, entweder die objektiven Daten mit dem Autorefraktometer ermittelt wurden, oder die Werte aus der bisher getragenen Brille vorliegen. Des Weiteren werden kurz die Hintergründe zum Zyklfusionstest erläutert.

### 2.1 Die Grundlage des Zyklfusionstestes

In der Regel war es mit den bisherigen Sehtesten nur möglich, die Sphäre unter binokularen Bedingungen abzugleichen. Es zeigt sich jedoch, dass sich auf Grund einer möglichen Verrollung beider Augen ein Abgleich der Zylinderstärke und dessen Achse unter binokularen Bedingungen empfiehlt. Die Möglichkeit der Verrollung ist durch das Zusammenspiel der sechs Augenmuskeln gegeben.

Die Muskeln des Auges, haben unter anderem die Aufgabe dafür zu sorgen, dass keine Doppelbilder oder kein zueinander verdrehtes Bild entsteht. Durch Ausgleichsmechanismen werden die Augenmuskeln so eingestellt, dass ein Einfachbild entstehen kann. Dies passiert in horizontaler, vertikaler und auch in Zykloposition. [3]

Dabei haben die schrägen Augenmuskeln die wesentliche Funktion, die gleichgerichteten Rollungen beider Augen bei Kopfneigung und die gegenläufigen Rollungen zur Erhaltung des Binokularsehens durchzuführen. Die Bedeutung der schrägen Augenmuskeln liegt also in der Regulierung beider Augen zur Vollauswertung des stereoskopischen Sehens und nicht in der Bewegung der Einzelaugen. [4] Die Augen nehmen somit unter binokularen Bedingungen eine andere Stellung ein wie unter monokularen Bedingungen.

Hieraus kann gefolgert werden, dass sich die Korrektur der Achsen des Astigmatismus unter binokularen Bedingungen empfiehlt. Das Ziel ist es, dadurch die Fusionsanstrengungen zu minimieren. [5] Dies hat vor allem bei Gleitsichtglasträgern eine hohe Bedeutung, da hier das Zusammenspiel zwischen Korrektionsglas und Refraktionsdefizit des Auges besonders wichtig ist. Selbst durch kleine Refraktionsdefizite werden die Gebrauchsbereiche im Gleitsichtglas erheblich verkleinert. [6]

Durch den neuen Zyklfusionstest ist es möglich geworden, die Zylinderachse und –stärke unter binokularen Bedingungen zu messen. Dadurch kann auf mögliche Verrollungen eingegangen werden.

### 2.2 PolaSkop3D

Das PolaSkop3D ist ein Sehzeichensystem auf TV-Basis mit dem die monokulare und binokulare Sehleistung der Augen überprüft werden kann. Das bisherige Bildschirmsehtestgerät wird durch einen 3D Fernseher ersetzt. Das PolaSkop3D wird von der Firma MailShop vertrieben und mit



dem PolaSkopControl System über ein Android Tablet bzw. Smartphone gesteuert. Auf diesem werden ebenfalls die Tests angezeigt, die der Proband sehen kann. Durch das PolaSkopControl System sind zahlreiche Einstellungsmöglichkeiten gegeben. Beispielsweise können einzelne Sehteste in die Reihe der bevorzugten Tests aufgenommen werden, sodass langes Suchen nach einem Test vermieden wird. Des Weiteren kann der Benutzer eine bestimmte Sequenz einspeichern. Das heißt, die Sehteste werden immer in einer definierten Abfolge dargestellt. Dies ist zu empfehlen, wenn für die Refraktion immer die gleiche Strategie verwendet wird. Außerdem gibt es verschiedenen Darstellungsmöglichkeiten der Optotypen. Es kann zwischen Einzel-, Reihen- und Gruppendarstellung variiert werden. [7]

Durch das PolaSkop3D sind verschiedene 3D Darstellungsmöglichkeiten gegeben. Die Trennung für die 3D - Technologie und die Binokularteste wird durch zirkulare Polarisationsfilter erreicht. Die zirkulare Polarisation wird durch eine lineare Polarisation und eine Verzögerung von Lambda halbe erreicht. Diese Polarisationsfilter gibt es entweder als Messgläser für die Messbrille oder als transparente Folien für den Phoropter. Sie bieten den Vorteil, dass Sie auch dann noch vollständig trennen, wenn der Analysator (Messbrille, Phoropter) nicht perfekt auf den Polarisator (PolaSkop3D) ausgerichtet ist. Das heißt die Messgläser brauchen nicht extra ausgerichtet werden. Durch diese Technologie ist es möglich, eine sogenannte 3D Refraktion durchzuführen. Generell wird zwischen der statischen 3D Refraktion und der dynamischen 3D Refraktion unterschieden. Bei der statischen Refraktion befinden sich zwei Buchstabenfelder, eines für jedes Auge, mit verschiedenen Sehzeichengrößen auf dem Testfeld. Dies bietet den Vorteil, dass kein Wechsel der Sehzeichen während der Refraktion nötig ist. Bei der dynamischen Refraktion jedoch, sind drei einstellbare Zeilen zu sehen. Die obere und untere Zeile wird jeweils mit einem Auge gesehen und die mittlere Zeile wird mit beiden Augen erkannt. Dieser Aufbau bietet den Vorteil, dass auch der binokulare Visus bestimmt werden kann. Des Weiteren ist direkt zu erkennen wenn kein simultanes Binokularsehen vorliegt, da dann eine komplette Zeile nicht mehr zu sehen ist. Der Zyklolfusionstest ist wie ein dynamischer Test aufgebaut. [7]



**Abbildung 1: Bildschirmdarstellung eines statischen (links) und dynamischen (rechts) Sehtestes [7]**

### Zyklofusionstest

Der Zyklofusionstest basiert unter anderem auf dem binokularen Astigmatismustest nach Schendel aus dem Jahr 2001. Durch neue Techniken war es Dieter Schendel möglich einen Test zu entwickeln, mit dem unter binokularen Bedingungen monokular Sphäre, Zylinder und Achse bestimmt werden kann. In dem Test werden beiden Augen unter Trennerbedingungen je Auge zwei runde Sehzeichen in Form der Zahlen 3,6,8 und 9 dargeboten. Diese Zahlen können beliebig oft in einer neuen Reihenfolge dargestellt werden. [2] Die Zahlen sind horizontal durch eine schwarze Linie getrennt die von beiden Augen gesehen wird. (vgl. Abbildung 2 links) Diese dient zum einen als Fusionsreiz und zum anderen als zentrale Verriegelung. Des Weiteren bietet der Test den Vorteil, dass die Größe der Optotypen verändert werden kann. Die Sehzeichen können von der Visusstufe 0,16 bis 1,25 gewählt werden. [2] Der Test von Dieter Schendel, weißt jedoch nur eine zentrale Verriegelung auf, welche laut der Firma MailShop eine nicht so starke Auswirkung auf einen Verrollungsfehler hat. Daher wird der Test um eine periphere Fusionsverriegelung ergänzt, wodurch er außerdem dem natürlichen Sehen näher kommt. Die periphere Verriegelung äußert sich im Zyklofusionstest als breite schwarze Balken. Zusätzlich dient eine mittlere Zeile, die mit beiden Augen gesehen wird, als zentrale Verriegelung. Der Test wird außerdem um zwei Doppelkreise ergänzt. Diese ermöglichen eine präzisere Bestimmung der Zylinderstärke und Achse, da sie im Gegensatz zu den Zahlen keine Vorzugsrichtung aufweisen. Die Doppelringe werden automatisch 2 Visusstufen größer als die Buchstabenzeilen dargeboten. [2] [8] Zusätzlich werden die Zahlen durch Buchstaben ersetzt um einen besseren sphärischen Abgleich unter binokularen Bedingungen zu ermöglichen. Sowohl die Buchstabenzeilen als auch die Doppelkreise können unabhängig voneinander in verschiedenen Visusstufen dargeboten werden.



**Abbildung 2: Astigmatismustest nach Schendel (links) und Zyklofusionstest (rechts) [3]**

Die Sehbereiche beim Zyklofusionstest werden wie folgt zugeordnet: Der obere Doppelring und die darunter liegende Zeile werden mit dem einen Auge und der untere Doppelring und die darüber liegende Zeile mit dem anderen Auge gesehen. Die mittlere Buchstabenzeile wird mit beiden Augen gesehen.

Dieter Kalder und Fritz Paßmann entwickelten 2014 den Zyklofusionstest noch einmal weiter. Die sehr technisch wirkende periphere Fusionsverriegelung wird gegen ein 3D Bild ausge-

tauscht. Der Fusionsreiz für die binokulare Bestimmung von Sphäre, Zylinder und Achse ist nach wie vor gegeben, jedoch ergibt sich dadurch für den Kunden ein komplett neues Refraktionserlebnis. [8] Durch den Austausch des „Balkenfusionsreizes“ in ein 3D Bild, entsteht die sogenannte 3D Refraktion. In der Ebene des 3D Fernseher werden die Sehzeichen dargeboten. Im Hintergrund ist dann das 3D Bild dargestellt. Um keine Akkommodation auszulösen, wird das 3D Bild immer hinter der Ebene der Sehzeichen dargeboten. Der Zyklofusionstest mit 3D Hintergrund ist in Abbildung 7 auf der rechten Seite dargestellt.

Bei den Refraktionen die im Rahmen dieser Bachelorthesis gemessen wurden, wird jedoch nur der einfache Zyklofusionstest mit den schwarzen Streifen als periphere Verriegelung angewendet.

### **2.3 Voraussetzungen für den subjektiven Abgleich**

Bevor mit der subjektiven Refraktion begonnen werden kann, werden die objektiv gemessenen Werte in die Messbrille eingesetzt. Nach dem Einsetzen der Messgläser wird die Messbrille dem Proband aufgesetzt. Die Messbrille wird so justiert, dass die Brille gerade sitzt und der Proband durch den optischen Mittelpunkt des Messglases blickt. Des Weiteren wird darauf geachtet, dass der Hornhautscheitelabstand bei ca. 15 mm liegt. Die komplette Messung wird mit der Messbrille durchgeführt, dadurch kann der Proband in seiner gewohnten Kopf- und Körperhaltung bleiben. Die Messbrille bleibt während der ganzen Messung gleich zentriert, damit zu jeder Zeit die gleichen Bedingungen vorliegen.

### **2.4 Prüfung auf eine Verrollung mit dem Maddoxzylinder**

Vor Beginn der subjektiven Refraktion wird mit Hilfe einer Lampe und zwei Maddoxzylindern geprüft, ob es unter binokularen Bedingungen zu einer Verrollung der Augen kommt.

Ein Maddoxzylinder besteht aus mehreren Zylindern, welche in einer Ebene miteinander verschmolzen wurden. Wird mit einem Maddoxzylinder eine punktförmige Lichtquelle betrachtet, erscheint die Lichtquelle als Lichtlinie, welche senkrecht zur Ausrichtung der Zylinder läuft. Für die Messung wird der Raum etwas abgedunkelt, damit der Proband nur die Lichtlinie erkennen kann. Durch diese entstehende Lichtlinie kann eine Verrollung nachgewiesen werden. [4]

Die Lampe wird in Höhe des Probanden montiert und eingeschaltet. Für die monokulare Messung wird jeweils ein Auge okkludiert und der Proband stellt auf dem blickenden Auge, selbstständig die Achse des Maddoxzylinders so ein, dass die Lichtlinie genau in 90° steht. Begonnen wird auf dem rechten Augen. Für das rechte Auge wird hierbei der rote und für das linke Auge der grüne Maddoxzylinder verwendet.



**Abbildung 3: Maddoxzylinder rot und grün**

Wenn mit beiden Augen die monokulare 90° Einstellung der Lichtlinie gefunden wurde, wird die Okklusion entfernt. Der Proband sieht nun beim Blick auf die punktförmige Maddoxlampe eine rote und eine grüne Lichtlinie. Es wird verglichen, ob die beiden Lichtlinien parallel bzw. deckungsgleich sind, oder ob ein Winkel zwischen den beiden Linien besteht. Sind die beiden Linien nicht deckungsgleich bzw. parallel, ist es möglich, dass eine Verrollung vorliegt. Der Proband stellt dann die Achsen wieder auf beiden Seiten so ein, dass die Lichtlinien deckungsgleich sind und senkrecht stehen. In diesem Fall würde ein Unterschied zwischen der monokularen und binokularen Einstellung der Maddoxzylinder bestehen.

Da durch die Messung an der Maddoxlampe mit dem Maddoxzylinder nur ein geringer Fusionsreiz gegeben ist, muss beim Vorliegen einer Verrollung ihr Betrag am größten sein. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass wenn auf diese Weise eine Verrollung gemessen wird, diese in gleicher Richtung am Zyklolfusionstest gemessen werden muss. Da am Zyklolfusionstest durch die periphere Verriegelung jedoch ein starker Fusionsreiz gegeben ist, müsste der Betrag der Verrollung geringer sein. Die Richtung der Achsdifferenz müsste jedoch die gleiche sein.

Ergibt sich mit den Maddoxzylindern keine Verrollung, d.h. die monokulare Einstellung ist gleich der binokularen, dürfte sich in Bezug auf die Zylinderachse, zwischen der monokularen Refraktion und dem binokularen Abgleich kein Unterschied ergeben.

## **2.5 Beschreibung der geprüften Refraktionsmethode**

In den folgenden Abschnitten wird die praktische Durchführung der Refraktionsbestimmung erläutert.

### **Bestes sphärisches Glas**

Zu Beginn wird das beste sphärische Glas (BSG) bestimmt. Bei einem astigmatischen Auge ist das beste sphärische Glas dann erreicht, wenn der Kreis kleinster Verwirrung auf der Netzhaut liegt. Dies bedeutet, dass eine Brennlinie vor der Netzhaut und die andere hinter der Netzhaut liegt. Man spricht in diesem Falle von einem Astigmatismus mixtus. Bei sehr hohen Astigmatismen gelingt es manchmal nicht, den Kreis kleinster Verwirrung auf die Netzhaut abzubilden. In

der Regel wird in diesem Fall eine der beiden Brennnlinien auf die Netzhaut abgebildet. Das BSG ist während der Refraktionsbestimmung dann erreicht, wenn mit dem stärksten Plusglas und dem schwächsten Minusglas die bestmögliche Sehschärfe vorliegt. Das heißt, bei Vorhalten eines Plusglases fällt der Visus ab und bei Vorhalten eines Minusglases steigt der Visus nicht mehr an. [1][9]

### **Achsabgleich des Zylinders**

Da im Voraus eine objektive Messung durchgeführt wird, ist eine annähernd passende zylindrische Korrektur bekannt und es entfällt somit die Prüfung auf Astigmatismus. Die Messung wird direkt nach der Bestimmung des BSG's mit dem Achsabgleich fortgesetzt. Für den Achsabgleich werden runde Optotypen, die zwei Visusstufen größer sind als die aktuelle Visusstufe, eingeblendet. In der Messung wird der sogenannte „Doppelkreis“ verwendet, der in Abbildung 4 dargestellt ist.



**Abbildung 4: Doppelkreis für den Abgleich der Zylinderstärke und -achse**

Der Achsabgleich wird mit der Kreuzzylindermethode durchgeführt. Der Kreuzzylinder wird mit „Stiel auf Achse“ vorgehalten. Das bedeutet, dass sein Stiel genau in die Richtung zeigt, in der die Achse des eingesetzten Zylinders ist. Anschließend folgt die Wendebefragung und der Kreuzzylinder wird vor dem Auge gewendet. Wird eine Wendelage als besser empfunden, wird die Achse des eingesetzten Zylinders in Richtung der Minuszylinderachse des Kreuzzylinders gedreht. Die Wendebefragung wird nun so oft wiederholt, bis beide Wendelagen als gleich gut empfunden werden. [1]

### **Zylinderstärkenabgleich**

Ist die Achslage des Zylinders gefunden, kann mit dem Stärkenabgleich des Zylinders fortgefahren werden. Hierfür wird der Kreuzzylinder mit „Achse auf Achse“ vorgehalten. Achse auf Achse bedeutet, dass der Kreuzzylinder so vorgehalten wird, dass er parallel zur genauen Achslage des Korrektionszylinders ist. Bei der Wendebefragung wird geprüft, ob der eingesetzte Zylinder verstärkt oder abgeschwächt werden muss. Auch bei dieser Wendebefragung muss der Proband unterscheiden, welche Wendelage er als besser empfindet oder ob beide Seheindrücke gleich sind. Wird die Wendelage, in der die Achse des Kreuzzylinders parallel zur Achse des

eingesetzten Zylinders steht, als besser empfunden, muss der Zylinder verstärkt werden. Ist die Achse des Kreuzzylinders senkrecht zur Achse des eingesetzten Zylinders, so muss der Zylinder abgeschwächt werden. Wenn beide Wendelagen als gleich empfunden werden, ist der Stärkenabgleich abgeschlossen. Zu beachten ist, dass wenn der Zylinder um 0,5 dpt verändert wird, die Sphäre um 0,25 dpt in die entgegengesetzte Richtung geändert werden muss. [1] [9]

### **Sphärischer Feinabgleich**

Der sphärische Feinabgleich wird sukzessiv an Optotypen durchgeführt. Hierfür werden die kleinstmöglichen noch lesbaren Optotypen dargeboten. Anschließend werden dem Prüfling +0,25 dpt vorgehalten. Wenn der Seheindruck nicht schlechter wird bzw. gleich bleibt, bekommt der Prüfling die +0,25 dpt und es wird noch einmal in Richtung Plus geprüft. Sollte der Seheindruck bei der zweiten Befragung schlechter werden, ist der Feinabgleich abgeschlossen und das letzte Glas wird nicht gegeben. Wenn der Seheindruck mit dem ersten Plusglas schlechter wird, werden anschließend -0,25 dpt vorgehalten, mit der Frage ob der Seheindruck besser wird. Ist dies der Fall, wird dieses Glas geben und es wird noch einmal in Richtung Minus geprüft. Wenn sich der Seheindruck mit einem vorgehaltenen Minusglas nicht verbessert, bleibt es bei der zuerst bestimmten Stärke und der Feinabgleich ist abgeschlossen. [1]

### **Sphärischer binokularer Abgleich**

Der sphärische Abgleich unter binokularen Bedingungen wird an den Buchstabenreihen des Zyklofustestes durchgeführt. Durch den sphärischen binokularen Abgleich soll nun Refraktionsgleichheit hergestellt werden. Dies bedeutet, dass die Fernpunkte beider Augen gleich weit von den Augen entfernt sind. Da nun beide Augen Sehzeichen in einer Ebene betrachten, wird jedes Auge einzeln abgeglichen. Für den sphärischen Abgleich muss der Proband die obere und untere Zeile vergleichen. Für das rechte Auge muss der Proband nun die obere Zeile beobachten und vergleichen, ob der Seheindruck bei Vorhalten eines Plusglases von +0,25 dpt schlechter wird oder gleich bleibt. Bei gleichbleibendem Seheindruck wird das Glas gegeben und noch einmal in Richtung Plus gefragt. Verschlechtert sich der Seheindruck bei der zweiten Befragung, wird das Glas nicht mehr gegeben und der Abgleich für das Auge ist beendet. Verschlechtert sich der Seheindruck beim ersten Vorhalten, werden -0,25 dpt vorgehalten, mit der Frage ob der Seheindruck besser wird. Verbessert sich der Seheindruck erhält der Proband die -0,25 dpt. Bei gleichbleibendem Seheindruck wird das Glas nicht gegeben und es wird mit dem anderen Auge fortgesetzt. An diesem Auge wiederholt sich die oben genannte Abfolge. Zu beachten ist, dass bei einer Änderung des einen Auges, das andere Auge noch einmal überprüft werden muss. [1] [9]

### **Achsabgleich des Zylinders**

Der Abgleich der Zylinderachse erfolgt wie unter monokularen Bedingungen. Während des Achsabgleichs beobachtet der Proband den Doppelkreis. Um eine bessere Beobachtung zu ermöglichen, wird auch hier der Doppelkreis 2 Visusstufen größer als die Buchstabenzeilen

dargeboten. Es wird nun die genaue Achse nach der oben beschriebenen Wendebefragung ermittelt. Während der Messung ist zu beachten, dass immer der richtige Optotyp betrachtet wird bzw., dass nur der Optotyp betrachtet wird, der zum Polarisationsfilter des in dem Moment vermessenden Auges gehört.

### **Zylinderstärkenabgleich**

Nachdem die Achse bestimmt wurde, kann mit dem Abgleich der Zylinderstärke begonnen werden. Hierfür wird, wie unter monokularen Bedingungen, die Wendebefragung mit „Achse auf Achse“ durchgeführt. Auch hier muss beobachtet werden, ob der Prüfling immer den richtigen Optotypen beobachtet.

## **2.6 DIN EN ISO 21987**

Die DIN EN ISO 21987 ist die europäische Norm für fertig montierte Korrektionsbrillengläser. Sie ist seit 2009 gültig und hat die RAL RG 915 ersetzt. Diese Norm legt Anforderungen an die Beschaffenheit von Brillengläsern in Korrektionsbrillen relativ zu der zugrunde liegenden Brillengläser-Verordnung fest. Sie regelt Grenzabweichungen für Scheitelbrechwert, prismatische Differenz, Nahtelhöhe, Zylinderachse usw.. Es werden außerdem Prüfverfahren für die Messung von Scheitelbrechwert, prismatischer Differenz, Zylinderachse usw. beschrieben. [10]

Für die Achsangaben in der Refraktion gibt es bisher keine festgelegte Toleranzen oder DIN Normen. Um jedoch trotzdem eine Aussage treffen zu können, ob ein tatsächlicher Unterschied zwischen der monokularen und binokularen Achsbestimmung besteht oder ob es sich nur um eine natürliche Sehschwankung handelt, wird daher Bezug auf die DIN EN ISO 21987.

Die DIN hat folgende Grenzabweichungen für die Richtung der Zylinderachse festgelegt:

**Tabelle 1: Grenzabweichungen für die Richtung der Zylinderachse [nach 10] mit Angabe der resultierenden Zylinder**

<b>Absolute Zylinderstärke</b> Dioptrien	<b>Grenzabweichung für die Richtung der Zylinderachse</b> Grad	<b>Resultierender Zylinder untere Grenze</b> Dioptrien	<b>Resultierender Zylinder obere Grenze</b> Dioptrien
von 0,125 bis 0,25	± 16	0,069	0,138
über 0,25 bis 0,50	± 9	0,081	0,156
über 0,50 bis 0,75	± 6	0,107	0,157
über 0,75 bis 1,50	± 4	0,106	0,209
über 1,50 bis 2,50	± 3	0,158	0,262
über 2,50	± 2	0,175	

Alle Veränderungen der Zylinderachse innerhalb dieser Grenzabweichungen, liegen innerhalb der Verträglichkeitstoleranz des Kunden und könnten daher auch einer natürlichen Schwan-

kungen im Sehen entsprechen. Daher wird in den Messungen davon ausgegangen, dass alle Veränderungen der Zylinderachse, die innerhalb der von der DIN Norm festgelegten Grenzen für die fertig montierten Korrektionsbrillengläser liegen, natürlichen Schwankungen entsprechen könnten. In der Auswertung der Messergebnisse wird daher die DIN EN ISO 21987 als Abgrenzung für die natürlichen Schwankungen im Sehen und dem tatsächlichen Unterschied zwischen der monokularen und binokularen Zylinderstärken- und Zylinderachsenbestimmung angenommen.

### **3. Zielsetzung**

Um den Zyklofusionstest und dessen Handhabung prüfen zu können, werden einige Aspekte genauer betrachtet.

Es soll überprüft werden ob die monokulare Messung der Zylinderstärke und Zylinderachse zu einem anderen Ergebnis führt, wie eine monokulare Messung unter binokularen Bedingungen am Zyklofusionstest. Des Weiteren wird der Visus mit beiden Methoden gemessen und dient daher als Maß für die Genauigkeit. Um die Handhabung und die praktische Anwendbarkeit interpretieren zu können, wird der benötigte Zeitaufwand für beide Messmethoden notiert und anschließend verglichen. Durch eine Wiederholung der Messungen kann eine Aussage über die Reproduzierbarkeit getroffen werden. Dabei soll geprüft werden, ob in einem Messverfahren mehr Plus oder Minus gemessen wird. Außerdem soll die Akzeptanz des Testes bei den Probanden durch eine kurze Befragung überprüft werden.

## **4. Material und Methode**

### **4.1 Probanden**

Für die Messungen werden freiwillige Augenoptikstudenten an der Hochschule Aalen gesucht. Des Weiteren werden Kunden des in Essingen ansässigen Optikgeschäftes „Die Brillenfabrik“ angeschrieben.

Grundvoraussetzung ist, dass die Probanden ein funktionierendes Binokularsehen besitzen. Außerdem sollten keine Augenerkrankungen oder Erkrankungen die das Sehen beeinflussen könnten vorliegen. Es wurden Probanden gesucht, deren Astigmatismus einen Zylinderbetrag von mehr 1,5 dpt aufwies. Dieses Ausschlusskriterium wurde gewählt, um eine klarere Abgrenzung zwischen den natürlichen Schwankungen und den möglichen Unterschieden, die durch die beiden Messverfahren entstehen könnten, zu schaffen. Bei kleineren Zylindern schwankt die Zylinderachse stärker wie bei größeren Zylindern, da häufig in den unterschiedlichen Wendelagen der Kreuzzylindermethode kein Unterschied wahrgenommen werden kann. Da die Zylinderachse stärker schwankt, ist es schwieriger zu unterscheiden, ob die Veränderung der Zylinderachse durch den Test verursacht wurde oder ob es sich um eine natürliche Schwankung handelt. Die untere Grenze des Zylinderwertes von 1,5 dpt wurde beziehungsweise auf die DIN EN ISO 21987 gewählt. Weitere Ausschlusskriterien waren große Visusunterschiede



zwischen dem rechten und linken Auge oder eine Aniseikonie, da sonst kein guter binokularer Abgleich möglich ist und die binokulare Beurteilung der Zylinderachse und -stärke erschwert ist.

Mit jedem Probanden wird ein Termin vereinbart, an dem zwei monokulare und zwei binokulare Messungen durchgeführt werden.

## 4.2 Objektive Refraktion

Vor Beginn der subjektiven Refraktion wird eine objektive Refraktion am HUVITZ Charops MRK - 3100 Autorefraktometer bestimmt. Hierbei werden Sphäre und Zylinder in 0,25 dpt - Schritten angegeben. Die Achsangabe erfolgt auf 1° genau.

Es sind an jedem Auge drei Messungen durchzuführen. Diese drei Messungen werden anschließend von dem Gerät automatisch gemittelt. Die vom Gerät angegebenen Werte dienen als Ausgangswerte für die subjektive Refraktion.



Abbildung 5: HUVITZ Charops MRK - 3100 Autorefraktometer

## 4.3 Binokularer Abgleich am Zyklofusionstest

Nachdem für jedes Auge monokular die Refraktion bestimmt wurde, erfolgt am Zyklofusionstest der Binokularabgleich von Sphäre, Zylinder und Achse. Der prinzipielle Aufbau des Zyklofusionstestes wurde bereits im Kapitel 2.2 näher erläutert. Ziel ist, durch den binokularen Abgleich das beidäugige Sehen so angenehm wie möglich zu gestalten und die bestmögliche Refraktion zu bestimmen.

Der Test sollte zuerst ohne Trennung der Seheindrücke dargeboten werden, damit der Proband den Test kurz betrachten und beschreiben kann. Anschließend werden die Trenner, in diesem Fall zirkulare Polarisationsfilter, in die Messbrille gesteckt. Nun wird der Test unter getrennten Seheindrücken wahrgenommen. Wenn der komplette Test gleichzeitig gesehen wird und alle Sehzeichen zu erkennen sind, kann der monokulare Abgleich unter binokularen Bedingungen begonnen werden. Wenn nicht alles zu sehen ist, kann es sein, dass ein Seheindruck unterdrückt wird. Kurzzeitiges und wiederholtes Abdecken des Führungsauges kann manchmal hilfreich sein, damit der Test komplett gesehen wird. Werden die Sehbereiche nicht alle gleichzeitig gesehen, liegt ein Alternativsehen vor. [1] Dann ist der Zyklofusionstest nicht durchführbar. Wenn die Buchstabenzeilen zu einander verschoben sind, liegt eine Heterophorie vor. In den meisten Fällen führt dies jedoch zu keinen weiteren Problemen. Wenn jedoch eine sehr starke Heterophorie vorliegt und die Buchstabenzeilen sehr stark verschoben sind, sollte vor dem binokularen Abgleich zuerst die Heterophorie korrigiert werden.

In Abbildung 6 ist die Zuordnung der Sehbereiche beim Zyklofusionstest dargestellt. Je nachdem wie die Polarisationsfilter in die Messbrille eingesetzt werden, kann die Zuordnung auch umgekehrt erfolgen.

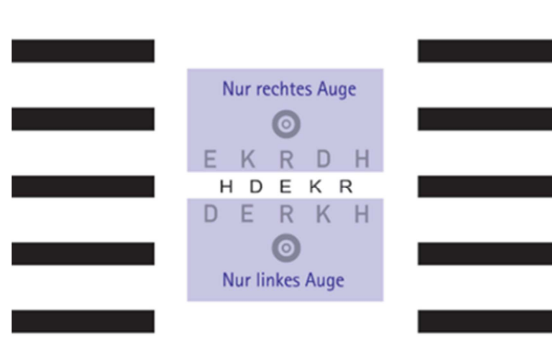


Abbildung 6: Zuordnung der Sehbereiche beim Zyklofusionstest [3]

#### 4.4 Ablauf der Messungen

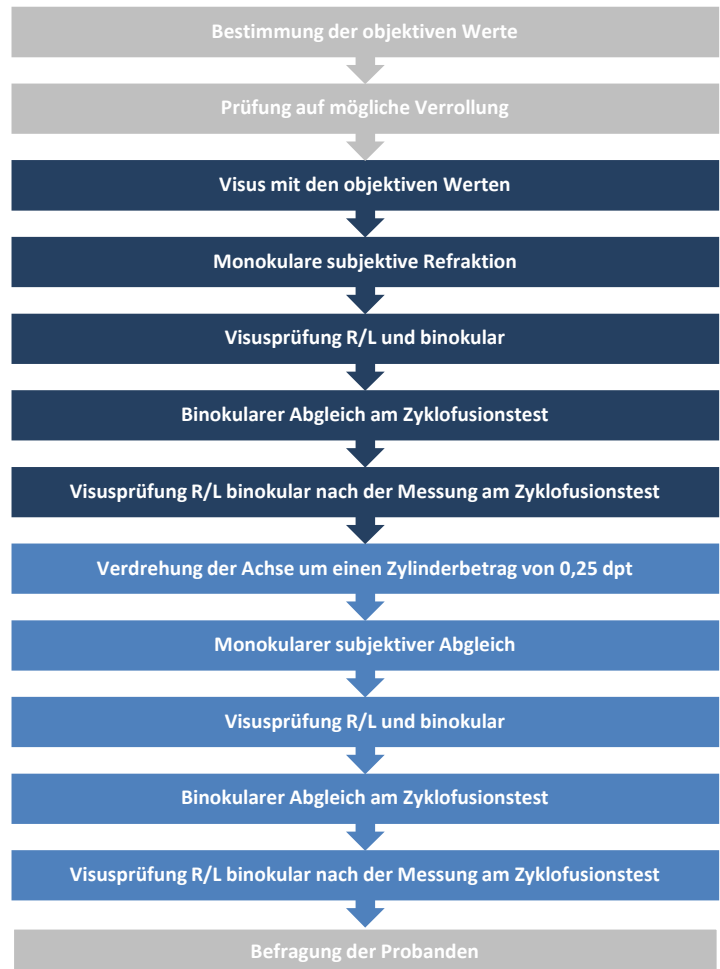
Der vollständige Ablauf einer Messung ist in Abbildung 7 als Übersicht dargestellt. Bei jedem Probanden werden zwei monokulare und zwei binokulare Refraktionen bestimmt. In der unten dargestellten Abbildung ist der erste Messdurchgang in dunkelblau und der zweite in hellblau markiert.

Zunächst wird eine objektive Refraktion mit dem oben beschriebenen Autorefraktometer durchgeführt. Die gemessenen Werte werden in die Messbrille eingesetzt und die Messbrille sorgfältig angepasst. Wenn die Messbrille richtig sitzt kann mit der Messung begonnen werden. Es wird auf der rechten Seite der Messbrille ein roter Maddoxzylinder eingesetzt und das linke Auge wird okkludiert. Im folgenden Schritt dreht der Proband selbstständig an der Achse des Maddoxzylinders und stellt sie so ein, dass die Lichtlinie genau senkrecht (90°) steht. Anschließend wird das rechte Auge okkludiert. Der eingestellte Maddoxzylinder wird jedoch in der Brille belassen. Der grüne Maddoxzylinder wird eingesetzt und der Proband stellt auch hier

die Lichtlinie so ein, dass sie genau senkrecht steht. Wenn die beiden Lichtlinien eingestellt wurden, wird das rechte Auge wieder aufgedeckt. Der Proband vergleicht nun, ob beide Lichtlinien parallel zueinander sind oder ein Winkel zwischen ihnen liegt. Sollte ein Winkel dazwischen liegen, werden die Achsen so nachjustiert, dass die beiden Linien parallel zueinander sind. Wenn unterschiedliche Einstellungen zwischen der monokularen und der binokularen Messung bestehen, werden diese notiert. Anschließend werden die Maddoxzylinder entfernt und die Achse des Astigmatismus wieder in ihre Ausgangsposition gedreht, da sich die Zylinderachse durch das Verdrehen der Maddoxzylinder mitverdrehen hat.

Da der erste Teil der Refraktion monokular gemessen bzw. jedes Auge einzeln betrachtet wird, wird ein Auge okkludiert. Beginnend wird der Visus mit den objektiven Werten bestimmt. Anschließend wird die objektive Refraktion, subjektiv nach der unter 2.5 beschriebenen Vorgehensweise abgeglichen. Der erzielte Visus mit den neuen Werten wird auf dem Protokollbogen notiert (vgl. Abbildung 8). Anschließend wird das andere Auge vermessen. Wenn die subjektiven Werte für jedes Auge bestimmt wurden, werden beide Augen aufgedeckt. Da der Proband für längere Zeit nur monokular auf kleine Sehzeichen geblickt hat, werden kurz nach dem Aufdecken des anderen Auges, die Sehzeichen etwas vergrößert um einen Fusionsreiz zu bieten. Dann wird der binokular erzielte Visus gemessen. Anschließend wird der Zyklofusionstest dargeboten und in die Messbrille R und L Polarisationsfilter eingesetzt. Wenn der monokulare sphärische Feinabgleich unter binokularen Bedingungen beendet

ist, kann der Achsabgleich des Zylinders und letztendlich der Abgleich der Zylinderstärke unter binokularen Bedingungen durchgeführt werden. Danach wird der monokulare Visus am Zyklofusionstest bestimmt. Um den binokularen Visus zu ermitteln, werden die Polarisationsfilter aus der Messbrille entfernt. Mit der Aufzeichnung des Visus ist der erste Durchgang beendet (vgl. Abbildung 7, dunkelblauer Bereich).



**Abbildung 7: Ablaufschema der Messungen, erster Durchlauf (dunkelblau) und zweiter Durchlauf (hellblau)**

Um die Reproduzierbarkeit des Testes zu ermitteln wird anschließend der komplette Ablauf wiederholt (vgl. Abbildung 7 hellblauer Bereich). Hierfür werden die binokular gemessenen Werte in der Messbrille belassen. Es wird lediglich die Achse des korrigierenden Zylinders um einen Betrag von 0,25 dpt verdreht. Der Betrag um den die Achse verändert werden muss, damit ein resultierender Zylinder von 0,25 dpt entsteht, ergibt sich aus der Formel  $C_{res}=2 \cdot C \cdot \sin \delta$ . Nach der Verdrehung der Achse wird der oben beschriebene Ablauf wiederholt.

Abschließend erfolgt eine kurze Befragung der Probanden. Der Proband soll in einer geschlossenen Fragestellung entscheiden, welches der beiden Messverfahren für ihn angenehmer war und an welchem Test er das Gefragte am besten beobachten bzw. beurteilen konnte. Des Weiteren können die Probanden ihre Meinung frei zu den Messverfahren äußern und beschreiben, was ihnen während der Messung an den Sehtesten aufgefallen ist. Dies wurde ebenfalls im Protokollbogen notiert.

#### **4.5 Der Protokollbogen**

Die gemessenen Refraktionsergebnisse werden in einen Protokollbogen eingetragen. Des Weiteren wird zu jeder Messung der erreichte Visus und das Vorhandensein bzw. nicht Vorhandensein von Binokularsehen im Protokollbogen vermerkt. Im unteren Teil des Bogens besteht die Möglichkeit, Auffälligkeiten oder Erfahrungen der Probanden zu notieren. Die Befragung, die nach jeder Messung stattfindet, wird ebenfalls im Protokollbogen vermerkt. Zur Kontrolle wird außerdem notiert um wieviel Grad die Achse des Zylinders vom ersten Messdurchgang für den zweiten verdreht wurde.

Datum: \_\_\_\_\_

Proband – Nr.: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_

Alter: \_\_\_\_\_

Binokularsehen: ☐ ja ☐ nein**Objektive Refraktion**☐ alte Brille☐ Autoref

	Sphäre	Zylinder	Achse	Prisma	Visus
R					
L					

**Zyklophoriemessung am Maddoxkreuz**

	Monokulare Achse	Binokulare Achse
R		
L		

**Subjektive Refraktion**

## 1. Monokular

	Sphäre	Zylinder	Achse	Prisma	Visus
R					
L					

## 2. Binokular am Zyklofusionstest

	Sphäre	Zylinder	Achse	Prisma	Visus
R					
L					

## 3. Monokular

Startachse: | nach Verdrehung: |

	Sphäre	Zylinder	Achse	Prisma	Visus
R					
L					

## 4. Binokular am Zyklofusionstest

	Sphäre	Zylinder	Achse	Prisma	Visus
R					
L					

**Bemerkungen**

Welcher Test war einfacher zu beurteilen?

☐ Zyklofusionstest☐ klassischer Test

---



---



---



---

**Abbildung 8: Protokollbogen**

## 4.6 Auswertung

Die gesammelten Ergebnisse werden anschließend von den Protokollbögen in eine Microsoft Excel Datei übertragen und ausgewertet.

Im Folgenden sollen die nötigen Analysemethoden erklärt werden, die für den Vergleich der Refraktionen nötig sind.

### Differenz der sphärischen Äquivalente ( $\Delta M$ )

Um die Sphäre beurteilen zu können, wird das sphärische Äquivalent  $M$  gebildet. Durch die Differenz der sphärischen Äquivalente  $\Delta M$  können zwei sphärozyklindrische Kombinationen, ohne Berücksichtigung der Zylinderachse, miteinander verglichen werden. Sie ist ein Maß für die sphärische Messgenauigkeit. Das sphärische Äquivalent und die Differenz der sphärischen Äquivalente sind wie folgt definiert:

$$M = S + \frac{1}{2}C$$

$$\Delta M = M_{1. \text{Msg.}} - M_{2. \text{Msg.}}$$

### PowerVektor - Analyse:

Um zwei sphärozyklindrische Kombinationen vergleichen zu können ist eine PowerVektor Analyse nötig. Eine Fehlsichtigkeit wird generell durch Sphäre (S), Zylinder (C) und Achse des Zylinders (A) beschrieben. Durch die drei Komponenten, ist es nicht möglich zwei astigmatische Refraktionen unabhängig voneinander zu vergleichen und anschaulich darzustellen. Werden beispielsweise zwei Refraktionen verglichen, welche die gleichen Werte für Sphäre und Zylinder besitzen, jedoch eine andere Achslage des Zylinders haben, schlägt sich dies sowohl auf den sphärischen als auch auf den zylindrischen Korrektionszustand nieder. Durch die PowerVektor Analyse, welche von D. Horner und L.N. Thibos entwickelt wurde, ist es jedoch möglich eine Refraktion ohne Achsangabe darzustellen und somit ist ein direkter Vergleich zweier Refraktionen möglich. [11] [12]

Hierfür wird an Stelle der Sphäre das sphärische Äquivalent  $M$  verwendet. Der Zylinder wird durch Vektorzerlegung in eine horizontale/vertikale Komponente  $J_0$  und in eine schräge Komponente  $J_{45}$  zerlegt.

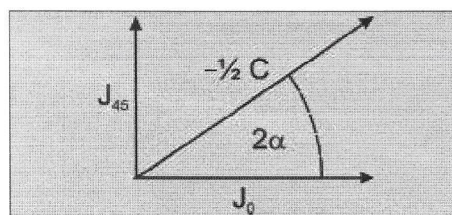


Abbildung 9: Vektorzerlegung der zylindrischen Korrektur [11]

Die horizontale/vertikale Komponente ( $J_0$ ) entspricht hierbei dem korrigierenden Jackson Kreuzzylinder in  $0^\circ/90^\circ$  und die schräge Komponente ( $J_{45}$ ) dem Jackson Kreuzzylinder in  $45^\circ/135^\circ$ .  $J_0$  und  $J_{45}$  beschreiben somit vektoriell die Zylinderstärke, die Richtung des Zylinders und haben keinen Einfluss auf das sphärische Äquivalent  $M$ . [12]

Daraus ergeben sich folgende Zusammenhänge: [13]

$$M = S + \frac{C}{2}$$

$$J_0 = -\frac{1}{2}C \cdot \cos(2 \cdot A)$$

$$J_{45} = -\frac{1}{2}C \cdot \sin(2 \cdot A)$$

Durch diese drei Komponenten kann eine sphärozyklindrische Kombination vollständig beschrieben werden und es sind somit keine Achsangaben mehr nötig. Die Komponenten werden jeweils in Dioptrien (dpt) angegeben. [14]

Mittels der sogenannten „J-Differenz“ können nun Fehler bzw. Unterschiede zwischen zwei Refraktionen mit Zylindern unterschiedlicher Stärke und Achse direkt verglichen werden.

Hierbei gelten folgende Formeln: [14]

$$\Delta J_0 = J_{01. \text{Msg.}} - J_{02. \text{Msg.}}$$

$$\Delta J_{45} = J_{451. \text{Msg.}} - J_{452. \text{Msg.}}$$

$$AD = \sqrt{\Delta J_0^2 + \Delta J_{45}^2}$$

$$TAD = 2 \cdot AD$$

$$TAD = \sqrt{C_1^2 + C_2^2 - 2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \cos(2 \cdot (A_1 - A_2))}$$

Die totale astigmatische Differenz (TAD) ist hierbei ein Maß für den Gesamtfehler des Astigmatismus. Sie entspricht dem Betrag der Vektordifferenz zwischen zwei Refraktionen (vgl. gestrichelte Linie Abbildung 10). Wie in den „J-Differenzen“ wird auch hier nur der zylindrische Anteil der Refraktion berücksichtigt.

Die „J-Differenzen“ können in einem „Zielscheibendiagramm“ dargestellt werden. Hier werden auf der x-Achse die  $\Delta J_0$  (horizontale/vertikale) Komponente und auf der y-Achse die  $\Delta J_{45}$  (schräge) Komponente aufgetragen. Wenn kein Unterschied zwischen der Zylinderstärke bzw. Zylinderachse der binokularen Messung und der monokularen Messung besteht, liegt der Messpunkt genau in der Mitte des Koordinatenkreuzes. Je größer die Unterschiede zwischen den beiden Messverfahren sind, desto weiter liegt der Messpunkt vom Koordinatenkreuz

entfernt. Für weit entfernte Messpunkte gibt es zwei mögliche Ursachen. Zum einen könnte ein geringer Zylinderstärkenunterschied mit einem hohen Achsunterschied bestehen. Zum anderen ein geringer Unterschied in der Achse des Zylinders, jedoch ein großer Unterschied in der Zylinderstärke. Der eingezeichnete Kreis dient hierbei zur Orientierung und kann beispielweise als Grenze für eine Schwankung dienen.

Für die Darstellung der Zielscheibendiagramme erfolgt eine Umrechnung von  $\Delta J_{45}$  bzw.  $\Delta J_0$  zu  $2 \cdot \Delta J_{45}$  bzw.  $2 \cdot \Delta J_0$  (vgl. Abbildung 10). Diese Normierung ergibt sich aus den Definitionen der astigmatischen Differenz (AD) und der totalen astigmatischen Differenz (TAD). Durch den Faktor von 2 ergibt sich, dass der eingezeichnete Kreis immer der TAD entspricht. Die Größe des Kreises kann beliebig gewählt werden.

Anhand eines Beispiels soll dieser Zusammenhang verdeutlicht werden:

Refraktion 1: sph -1,25 cyl -2,25 A11°

Refraktion 2: sph -1,00 cyl -2,50 A5

$\Delta J_0 = -0,19$  dpt

$\Delta J_{45} = 0,20$  dpt  $\rightarrow$  AD = 0,275 dpt

$2 \cdot \Delta J_0 = -0,38$  dpt

$2 \cdot \Delta J_{45} = 0,41$  dpt  $\rightarrow$  TAD = 0,55 dpt

Im unten dargestellten Zielscheibendiagramm entspricht der Kreis beispielsweise einer TAD von 0,50 dpt. Da der Messpunkt eine TAD von 0,55 dpt (gestrichelte Linie) aufweist, liegt er außerhalb des eingezeichneten Kreises.

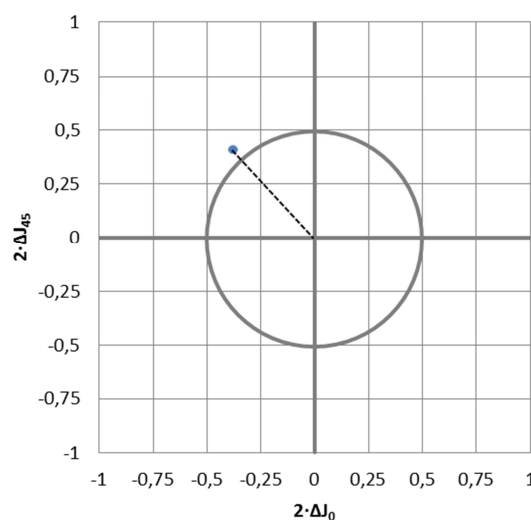


Abbildung 10: Zielscheibendiagramm



### Vector Dioptric Distance (VDD)

Die Vector Dioptric Distance gibt die dioptrische Differenz zwischen zwei Refraktionen an. Eine sphärozyklindrische Kombination kann im dreidimensionalen Raum als Punkt dargestellt werden. Dabei stellen Sphäre, Zylinder und Achse die x,y,z – Richtung dar. Die vektorielle Differenz zwischen zwei Punkten bzw. Refraktionen wird dann als VDD bezeichnet. Durch die vektorielle Darstellung werden sowohl Zylinder und Achse, als auch Sphäre anteilmäßig berücksichtigt. Die Formel setzt sich wie folgt zusammen: [15] [16]

$$VDD = \sqrt{2} \cdot \sqrt{(M_{1. \text{Msg.}} - M_{2. \text{Msg.}})^2 + (J_{01. \text{Msg.}} - J_{02. \text{Msg.}})^2 + (J_{451. \text{Msg.}} - J_{452. \text{Msg.}})^2}$$

Geht man beispielsweise von einer rein sphärischen Refraktion aus, bedeutet eine VDD von 1,0 dpt eine Änderung in der Sphäre von 0,71 dpt.

## **5. Ergebnisse**

Im Folgenden Kapitel werden die Ergebnisse aufgezeigt und dargestellt.

### **5.1 Probanden**

Insgesamt werden 46 Probanden zwischen 19 und 75 Jahren rekrutiert. Das Probandenkollektiv besteht aus Kunden des Optikgeschäftes „Die Brillenfabrik“ in Essingen und aus einigen Augenoptikstudenten der Hochschule Aalen. Fünf Probanden mussten unter Berücksichtigung der Ausschlusskriterien von den Ergebnissen ausgeschlossen werden. Unter anderem wegen eines vorliegenden Keratokonus, grünen und grauen Star oder zu geringem Astigmatismus. Dadurch ergibt sich ein auswertbares Probandenkollektiv von 41 Personen. Im Kollektiv befinden sich Astigmatismen im Bereich von -1,75 dpt bis -5,25 dpt.

Aufgrund des Mangels an Probanden, mit einem beidseitigen Zylinder von kleiner -1,5 dpt, wurden auch Probanden gewählt, die nur einen einseitigen Zylinder von kleiner -1,5 dpt besitzen. Bei insgesamt 12 Probanden war der Astigmatismus nur auf einem Auge größer als 1,5 dpt. Für die Reproduzierbarkeit und den Vergleich der beiden Refraktionsergebnisse gehen jedoch nur die Werte mit einem Zylinderbetrag von größer 1,5 dpt ein. Bei der Beurteilung der Sehschärfe und der gemessenen Verrollung mit den Maddoxzylindern werden jedoch auch die Augen berücksichtigt, die einen geringeren Zylinderbetrag als 1,5 dpt aufweisen. Um einen besseren Überblick über das auswertbare Probandenkollektiv zu erhalten, ist in Tabelle 2 eine kurze Übersicht mit der Anzahl der Probanden und auswertbaren Augen dargestellt. In der Tabelle kann man erkennen, wie viele Augen bei den verschiedenen Auswertungen berücksichtigt werden.

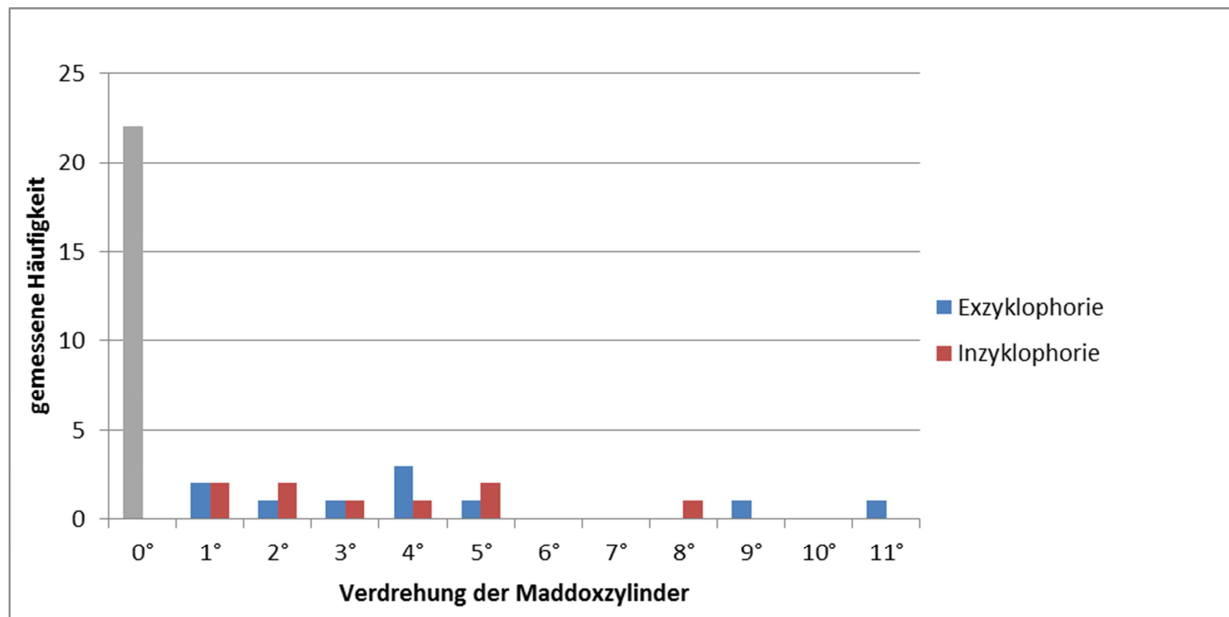
**Tabelle 2: Darstellung der auswertbaren Probanden bzw. Augen die in den verschiedenen Auswertungen berücksichtigt werden**

Anzahl der gemessenen Probanden	Auswertbare Augen	Form der Auswertung
41 Probanden	70 Augen	Reproduzierbarkeit Vergleich der Refraktionsergebnisse
41 Probanden	82 Augen	Visus Prüfung auf Verrollung mit dem Maddoxzylinder

## 5.2 Prüfung auf Verrollung mit dem Maddoxzylinder

In Abbildung 11 ist zu erkennen, wie häufig eine Verrollung mit den Maddoxzylindern gemessen wurde. Des Weiteren ist dargestellt, um wieviel Grad der Maddoxzylinder verdreht wurde. Insgesamt sind die 41 Augenpaare der 41 Probanden dargestellt. Für die Darstellung wurde jeweils die Verdrehung der Maddoxzylinder bei der monokularen und binokularen Messung für jedes Auge bestimmt. Anschließend wurde das Ergebnis des rechten Auges mit dem des linken verglichen und verrechnet. Wenn beispielsweise auf dem rechten Auge ein Unterschied von der monokularen zur binokularen Messung von  $91^\circ$  auf  $93^\circ$  und auf dem linken Auge von  $92^\circ$  auf  $90^\circ$  gemessen wurde, ergibt sich eine Exzyklophorie von insgesamt  $4^\circ$ . Eine Inzyklophorie ist immer zu beobachten, wenn auf beiden Augen die Achsen der Maddoxzylinder unter binokularen Bedingungen in Richtung nasal geändert werden. Bei der Exzyklophorie werden die Achsen unter binokularen Bedingungen in Richtung temporal gedreht. Bei 22 Messungen ist keine Verdrehung der Maddoxzylinder zu erkennen. Bei diesen 22 Messungen hat sich in zwei Fällen die Verdrehung des rechten Auges mit der Verdrehung des linken Auges ausgeglichen. Zum Beispiel wurde bei einem Probanden auf dem einen Auge ein Achsunterschied von der monokularen zur binokularen Einstellung von  $3^\circ$  in Richtung Inzyklophorie gemessen. Auf dem anderen Auge ergab sich jedoch eine Verdrehung von  $3^\circ$  in Richtung Exzyklophorie. Dadurch ergibt sich am Ende eine Drehung von  $0^\circ$ . Bei 7 Messungen wurde ein Unterschied von  $1^\circ$  bzw.  $2^\circ$  gemessen und bei insgesamt 12 Messungen ergab sich eine größere Abweichung als  $2^\circ$ . Die Häufigkeiten der Inzyklophorie und Exzyklophorie sind relativ gleichmäßig verteilt. Es ist nicht zu erkennen, ob die eine Form der Zyklophorie häufiger gemessen wurde, wie die andere.

Auf die gemessenen Ergebnisse wird in Kapitel 6.1.1 noch einmal genauer eingegangen.



**Abbildung 11: Darstellung der gemessenen Häufigkeiten in Abhängigkeit von der Verdrehung der Maddoxzylinder. Die Häufigkeiten werden nach Inzyklophorie und Exzyklophorie unterteilt. (n=41 Probanden/Augenpaare)**

### 5.3 Vergleich der Refraktionsergebnisse

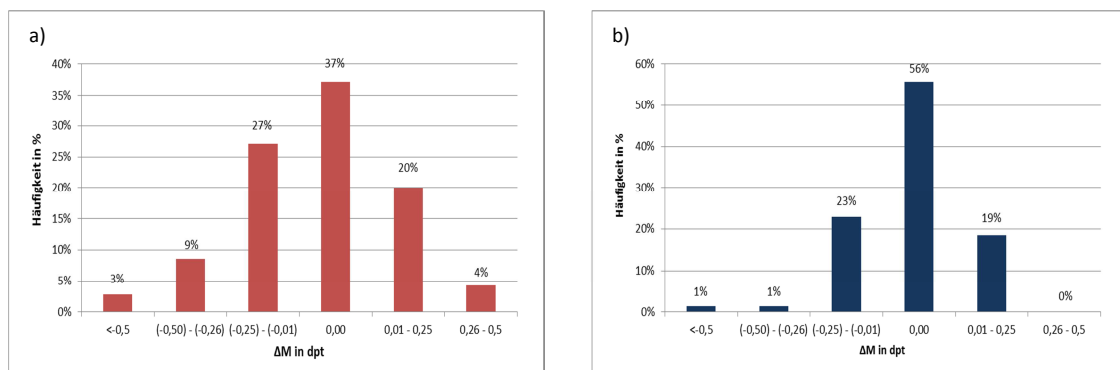
Um zu erkennen, ob sich die beiden Refraktionsmethoden unterscheiden, werden die Refraktionsergebnisse mit Hilfe von einigen Faktoren miteinander verglichen.

#### Differenz der sphärischen Äquivalente ( $\Delta M$ )

Um die sphärische Komponente vergleichen zu können, zeigt Abbildung 12 die Verteilung der Differenz der sphärischen Äquivalente ( $\Delta M$ ). In Abbildung 12 a) ist  $\Delta M$  beim ersten Messdurchgang dargestellt und in b) beim zweiten Messdurchgang. Es wird immer die monokulare Messung mit der binokularen Messung verglichen. Dies bedeutet, dass bei allen Messungen die eine Differenz der sphärischen Äquivalente von kleiner 0 dpt aufweisen, unter binokularen Bedingungen mehr Plus gemessen wurde als unter monokularen. Bei allen Messpunkten für die sich ein  $\Delta M$  von größer 0 dpt ergibt, wurde mehr Minus unter binokularen Bedingungen gemessen. Es ist zu erkennen, dass im ersten Messdurchgang in 39% der Fälle mehr Plus und in 24% mehr Minus unter binokularen Bedingungen gemessen wurde. Dies zeigt, dass die Probanden unter binokularen Bedingungen tendenziell weniger Minus angenommen haben wie unter monokularen Bedingungen. 37% der  $\Delta M$  weichen gar nicht voneinander ab. Bei 47% weicht die Differenz der sphärischen Äquivalente zwischen 0,01 dpt und 0,25 dpt ab. Eine Abweichung von 0,26 dpt oder mehr wird bei 16% gemessen. Wie bei den Zielscheibendiagrammen, ist auch hier zu erkennen, dass sich die Messungen im zweiten Messdurchgang weniger unterscheiden als im ersten (vgl. Abbildung b)). Hier wird bei 25% mehr Plus und bei 19% mehr Minus unter binokularen Bedingungen gemessen. Bei 42% weichen die Differenzen der sphärischen Äquivalente nur geringfügig voneinander ab ( $\pm 0,25$  dpt) und bei 56% der

Messungen ist die Differenz der sphärischen Äquivalente gleich null. Nur bei 2% (2 Augen) der Messwerte ist die Abweichung größer als 0,26 dpt.

Beim Vergleichen der Refraktionsergebnisse aus der monokularen und binokularen Messung, fand sich im sphärischen Äquivalent eine mittlere Abweichung von  $-0,07 \pm 0,22$  dpt ( $MW \pm \sigma$ ) in der ersten und  $-0,03 \pm 0,15$  dpt in der zweiten Messung. Die 95% Übereinstimmungsgrenzen liegen daher  $\pm 0,43$  dpt bzw.  $\pm 0,29$  dpt von der mittleren Refraktion entfernt.



**Abbildung 12: Differenz der sphärischen Äquivalente  $\Delta M$  ( $M_{\text{mono}} - M_{\text{bino}}$ ) bei der a) 1. und b) 2. Messung**

Da durch die Darstellung in Abbildung 12 nicht zu erkennen ist, ob tatsächlich in einer Messmethode mehr Minus bzw. Plus gemessen wird, wird für die Messergebnisse aus der 1. Messung ein Bland-Altman Plot erstellt (vgl. Abbildung 13). Hierbei werden auf der x-Achse die Mittelwerte der sphärischen Äquivalente aus der monokularen und binokularen Messung und auf der y-Achse werden die Differenzen des sphärischen Äquivalents aufgetragen. Durch diese Darstellung sind die Schwankungsbreite der Abweichungen und Ausreißer besser beurteilbar. Des Weiteren kann beurteilt werden, ob die Streuung der Abweichungen von der Höhe der sphärischen Äquivalente abhängt. Die Schwankungsbreite der 95% Übereinstimmung beider Messverfahren wird im Diagramm als rote Linien gekennzeichnet. Innerhalb dieser beiden Linien befinden sich 95% der gemessenen Differenzen  $\Delta M$  ( $MW \pm 1,96 \cdot \sigma$ ). Zusätzlich wird die durchschnittliche Differenz der Messpunkte dargestellt (grüne Linie).

Der Mittelwert der  $\Delta M$  liegt bei  $-0,07$  dpt und der Schwankungsbereich der Messwerte bei  $\pm 0,22$  dpt (Standardabweichung). In Abbildung 13 ist zu erkennen, dass in 95% der Fälle die gemessenen Differenzen  $\Delta M$  im Bereich von  $+0,36$  dpt und  $-0,49$  dpt liegen. Fünf Messpunkte liegen außerhalb des 95% Bereichs, sie spiegeln genau die 7% der äußersten Balken in Abbildung 12 a) wieder. Da die Messpunkte nicht nach oben bzw. unten verschoben sind, sondern relativ gleichmäßig um den Mittelwert von  $\Delta M$  streuen, kann man feststellen, dass nicht ein Prüfverfahren, im Vergleich zum anderen, zu einem niedrigeren oder höheren Ergebnis gelangt.

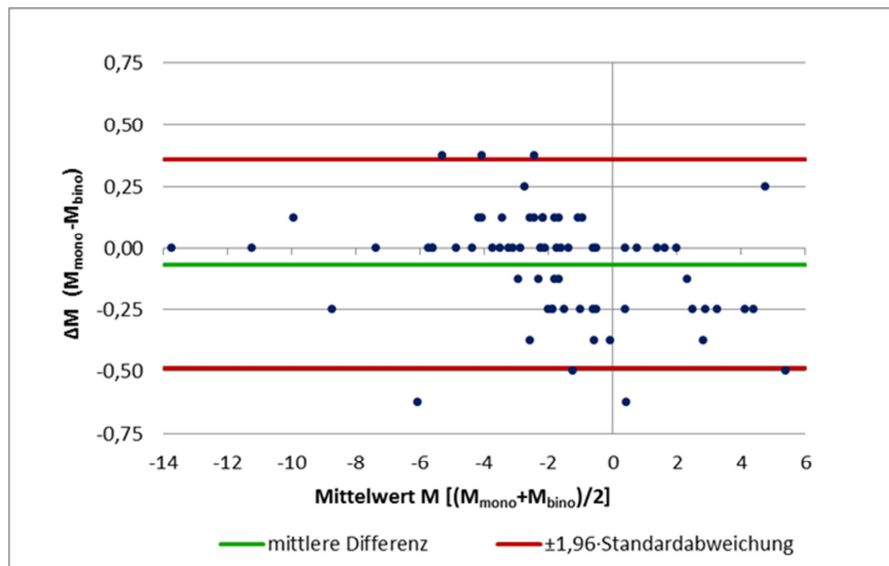


Abbildung 13: Bland-Altman Plot (n=70)

### PowerVektor - Analyse

Um vergleichen zu können, ob sich die beiden Refraktionsmethoden unterscheiden, werden die Ergebnisse der PowerVektor - Analyse als Zielscheibendiagramme in den folgenden Abbildungen dargestellt. Wie in Kapitel 4.6 erläutert, werden auf der x-Achse die 0°/90° Komponente des Jackson Kreuzzylinders und auf der y-Achse die 45°/135° Komponente aufgetragen. Liegen die Messpunkte innerhalb des Kreises, kann davon ausgegangen werden, dass die monokulare Refraktion zu einem gleichwertigen Ergebnis führt wie die binokulare Refraktion und sich somit die Zylinderachsen nicht relevant verändern.

Um die Unterschiede in den Refraktionen besser beurteilen zu können, sind für jeden Vergleich drei Zielscheibendiagramme dargestellt. In dem ersten Diagramm sind alle 70 Messwerte eingetragen. Dieses Diagramm ist immer mit a) gekennzeichnet. In den beiden danebenliegenden Diagrammen b) und c), werden die Messwerte nach ihrer Zylinderstärke unterteilt um eine eventuelle Abhängigkeit von der Zylinderstärke aufzuzeigen. In b) werden alle Astigmatismen mit einem Betrag von 1,75 bis 2,5 dpt dargestellt. Es werden somit 44 Messpunkte aufgezeigt. 26 Augen weisen einen größeren Zylinderbetrag als 2,5 dpt auf, diese sind in Darstellung c) abgebildet. Der Kreis in Abbildung a) beziehungsweise der größere Kreis in Abbildung b) und c) entspricht einer totalen astigmatischen Differenz von 0,5 dpt. In Abbildung b) entspricht der kleinere Kreis einer totalen astigmatischen Differenz von 0,26 dpt und in c) von 0,36 dpt. Die Größe der kleineren Kreise wurde in Bezug auf die DIN EN ISO 21987 gewählt. Eine genaue Berechnung befindet sich im Anhang Seite 59. In der Diskussion wird auf die gewählten Größen der Kreise noch einmal genauer eingegangen.

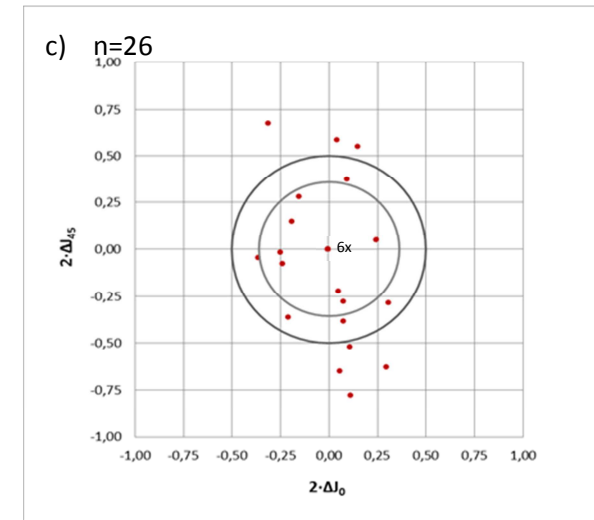
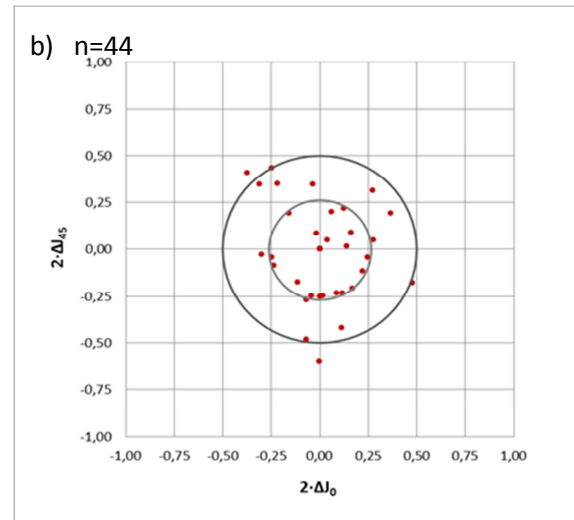
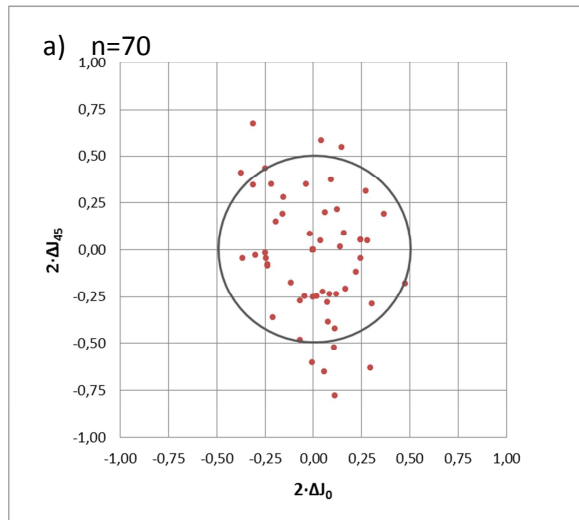
An jedem Probanden wird in zwei Durchläufen die Zylinderachse unter monokularen und binokularen Bedingungen gemessen. In Abbildung 14 sind die Differenzen der PowerVektoren zwischen der monokularen und der binokularen Messung aus dem ersten Durchgang

dargestellt. In Abbildung 15 sind die PowerVektor Differenzen aus dem zweiten Durchgang zu sehen.

In Abbildung 14 a) sind alle 70 Messpunkte eingezeichnet. 87% der Messpunkte (61 Augen) liegen innerhalb des 0,5 dpt - Kreises. Bei 13% (9 Augen), ist der Unterschied zwischen der monokularen und binokularen Messung größer. Zwei Messwerte liegen sehr weit vom Nullpunkt des Zielscheibendiagramms entfernt. Der eine Messpunkt weist eine TAD von 0,74 dpt und der andere Messpunkt sogar eine TAD von 0,79 dpt auf. In Abbildung 14 b) werden alle Astigmatismen mit einem Betrag von 1,75 bis 2,5 dpt dargestellt. Von den 44 Messwerten liegen 95% (42 Augen) innerhalb des 0,5 dpt - Kreises. Die Messwerte die sich innerhalb des Kreises befinden verteilen sich relativ gleichmäßig um den Nullpunkt. Es ist keine Verschiebung der Messwerte in eine Richtung zu erkennen. 5% der Messpunkte (2 Augen) liegen außerhalb des 0,5 dpt - Kreises. Jedoch liegen 32% der Messpunkte außerhalb des kleineren Grenzbereiches.

26 Augen weisen einen größeren Zylinderbetrag als 2,5 dpt auf. Diese sind in Abbildung 14 c) dargestellt. Der kleinere Kreis hat hier einen Betrag von 0,36 dpt. Es ist zu erkennen, dass sehr viele Messpunkte außerhalb dieses Kreises liegen. Innerhalb des 0,36 dpt - Kreises liegen 54% der Messwerte (14 Augen) und innerhalb des 0,5 dpt - Kreises 73% der Messwerte. Viele Messpunkte liegen relativ weit vom unmittelbaren Nullpunkt entfernt. Außerhalb der äußeren Grenzabweichung liegen 27% der Messpunkte (7 Augen). Jedoch liegen auch 6 Punkte genau auf dem Koordinatenursprung, was 23% entspricht. Betrachtet man die Verteilung der Messpunkte genauer, fällt auf, dass die schräge Komponente ( $J_{45}$ ) größere Abweichungen zeigt als die horizontale Komponente ( $J_0$ ).

In Abbildung 15 werden die Ergebnisse aus der monokularen und binokularen Achsbestimmung aus dem 2. Durchlauf dargestellt. Es ist auf den ersten Blick zu erkennen, dass die Messpunkte nicht so stark streuen und nur sehr wenige Messpunkte außerhalb der Grenzen liegen. In Abbildung 15 a) liegen 99% der Messpunkte (69 Augen) innerhalb der totalen astigmatischen Differenz von 0,50 dpt. Die Messpunkte liegen gleichmäßig verteilt um den Nullpunkt. In Abbildung b) sind wieder die kleineren Astigmatismen im Bereich von -1,75 bis -2,5dpt dargestellt. Hier liegen 98% der Messwerte (43 Augen) innerhalb des 0,5 dpt - Kreises. Nur ein Messpunkt (2%) liegt außerhalb des Kreises. 80% der Messwerte (35 Augen) liegen innerhalb des 0,26 dpt - Kreises. In Abbildung c) befinden sich alle Messpunkte innerhalb der totalen astigmatischen Differenz von 0,5 dpt. Innerhalb des kleinen Kreises befinden sich 88% der Messwerte (23 Augen). 27% der Messpunkte (7 Augen) liegen sogar genau im Koordinatenursprung des Zielscheibendiagramms. Die Messpunkte der zweiten Messung liegen deutlich näher am Nullpunkt wie in der ersten Messung. In der ersten Messung ist der Schwankungsbereich deutlich größer.

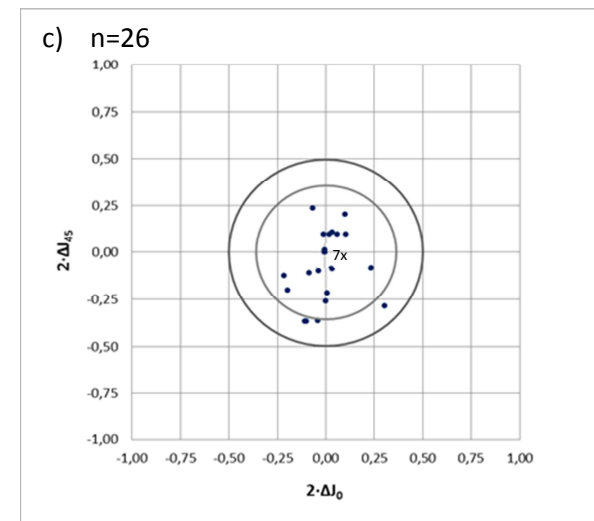
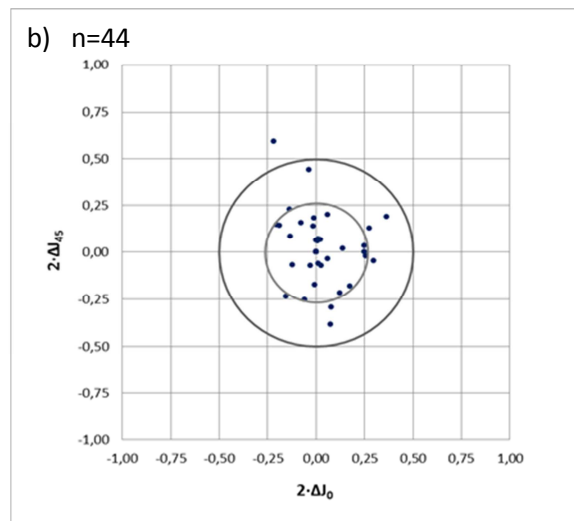
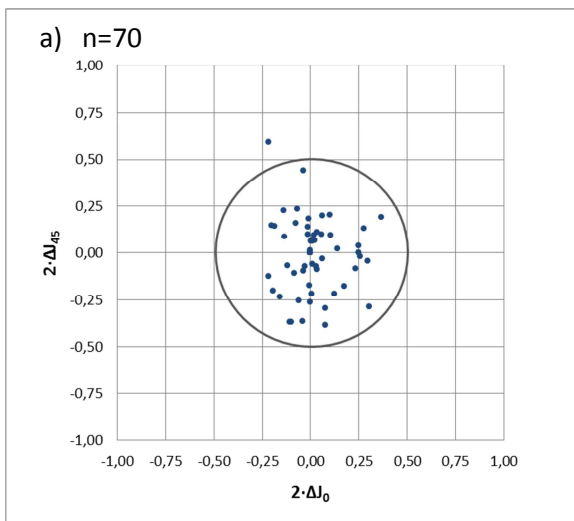


**Abbildung 14: Vergleich der monokularen Ergebnisse mit den binokularen aus dem 1. Durchlauf**

a) Darstellung aller Messpunkte

b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt

c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt



**Abbildung 15: Vergleich der monokularen Ergebnisse mit den binokularen aus dem 2. Durchlauf**

a) Darstellung aller Messpunkte

b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt

c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt

### Vector Dioptric Distance (VDD)

Ergänzend zur Differenz der sphärischen Äquivalente, wird im Folgenden die Vector Dioptric Distance (VDD) dargestellt, da bei dieser zusätzlich zur Sphäre und dem Zylinder auch die Achse des Zylinders berücksichtigt wird. In Abbildung 16 a) ist die VDD bei der ersten Messung und in 16 b) ist die VDD bei der zweiten Messung dargestellt.

Auf der linken Seite ist zu sehen, dass die dioptrische Differenz zwischen der monokularen Refraktionen und der Refraktion am Zyklofusionstest in 40% zwischen 0 und 0,25 dpt liegt. Zwischen 0,26 und 0,5 dpt unterscheiden sich die beiden Refraktionen in 40 % der Fälle. Bei 16% der Messungen ist die Abweichung größer als 0,5 dpt aber kleiner als 0,75 dpt. Bei 3 Messungen (4%) ist der Unterschied in den beiden Refraktionen größer als 0,75 dpt. Betrachtet man die Verteilung der Vector Dioptric Distance bei der zweiten Messung (b), erkennt man, dass sich die Refraktionen in 60% der Fälle kaum oder nur gering (0 bis 0,25 dpt) unterscheiden. Auch hier lässt sich erkennen, dass die Unterschiede in der zweiten Messung wesentlich geringer sind. 37% der VDD liegen zwischen 0,26 und 0,5 dpt. Nur in 3% der Fälle (2 Augen) ist eine dioptrische Differenz von 0,5 bis 0,75 dpt zu messen.

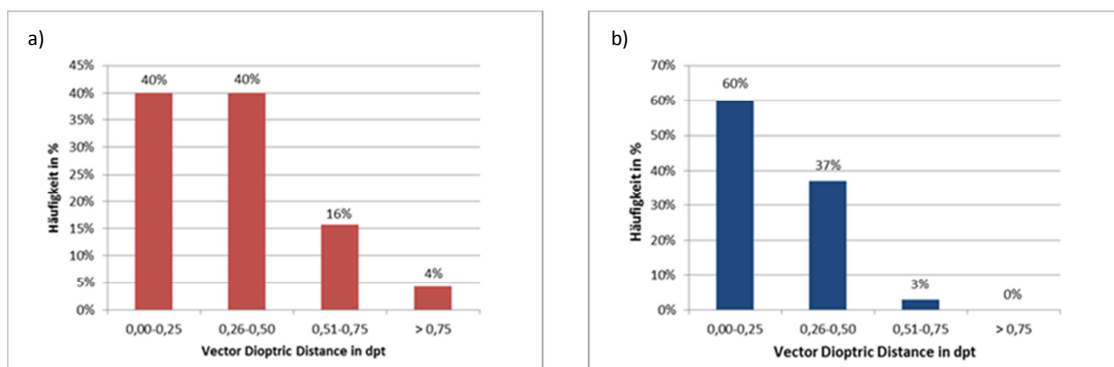


Abbildung 16: Darstellung der Vector Dioptric Distance bei der a) 1. und b) 2. Messung

## 5.4 Reproduzierbarkeit der Messungen

Da bei jedem Probanden zweimal die Zylinderachse sowohl unter monokularen als auch unter binokularen Bedingungen bestimmt wurde, ist es möglich eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Refraktionsmethoden zu treffen.

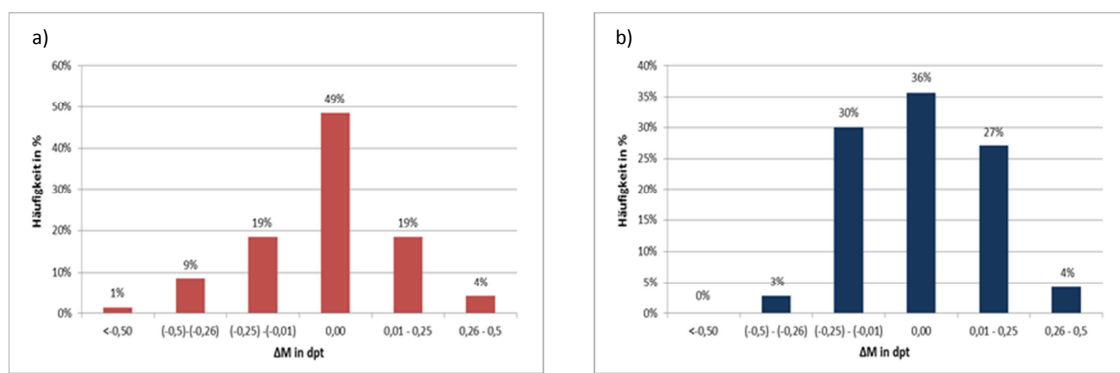
### Differenz der sphärischen Äquivalente ( $\Delta M$ )

Im Folgenden ist die Differenz der sphärischen Äquivalente sowohl für die monokulare als auch für die binokulare Messung dargestellt. In Abbildung 17 a) ist die Differenz der sphärischen Äquivalente für die monokulare Messung dargestellt. Hier ist zu erkennen, dass bei 49% der Messungen keine Änderung im sphärischen Äquivalent gemessen wurde. 87% der Differenz der sphärischen Äquivalente weichen gar nicht oder nur gering ( $\pm 0,25$  dpt) voneinander ab. Bei 14% ist die Abweichung größer als  $\pm 0,25$  dpt jedoch geringer als  $\pm 0,75$  dpt. Betrachtet man die Verteilung von  $\Delta M$  für die binokulare Messung (vgl. Abbildung 17 b)) fällt auch hier auf, dass bei



sehr vielen Messungen keine Abweichung in der Differenz der sphärischen Äquivalente vorliegt (36%). Bei insgesamt 93% wurde keine Abweichung bzw. nur eine geringe Abweichung von  $\pm 0,25$  dpt gemessen. Das sind 6% mehr als bei der monokularen Messung. Jedoch wurde bei der monokularen Messung bei 49% eine Differenz der sphärischen Äquivalente von 0 dpt erreicht und bei der binokularen nur bei 36%. Die Methoden sind daher vergleichbar. Bei 7% der Messungen ergibt sich  $\Delta M$  von  $\pm 0,26$  dpt bis  $\pm 0,5$  dpt.

Um die Reproduzierbarkeit der beiden Messmethoden beurteilen zu können, werden die 95% Übereinstimmungsgrenzen ( $\pm 1,96 \cdot \sigma$ ) berechnet. Für die monokulare Refraktion fand sich im sphärischen Äquivalent eine mittlere Differenz von  $-0,04 \pm 0,20$  dpt und für die binokulare Refraktion eine mittlere Differenz von  $0,0 \pm 0,19$  dpt. Die 95% Übereinstimmungsgrenzen liegen daher um  $\pm 0,39$  dpt bzw.  $\pm 0,37$  dpt von der mittleren Refraktion entfernt.



**Abbildung 17: Differenz der sphärischen Äquivalente  $\Delta M$  ( $M_{\text{mono}} - M_{\text{bino}}$ ) bei der a) monokularen und b) binokularen Messung**

### PowerVektor - Analyse

Um die Reproduzierbarkeit der beiden Messverfahren besser vergleichen zu können, werden ebenfalls die Ergebnisse der PowerVektor - Analyse als Zielscheibendiagramm dargestellt. Hierfür werden jeweils die Vektordifferenzen, für die erste und zweite monokulare Messung (vgl. Abbildung 18) und für die erste und zweite binokulare Messung in (vgl. Abbildung 19) ermittelt.

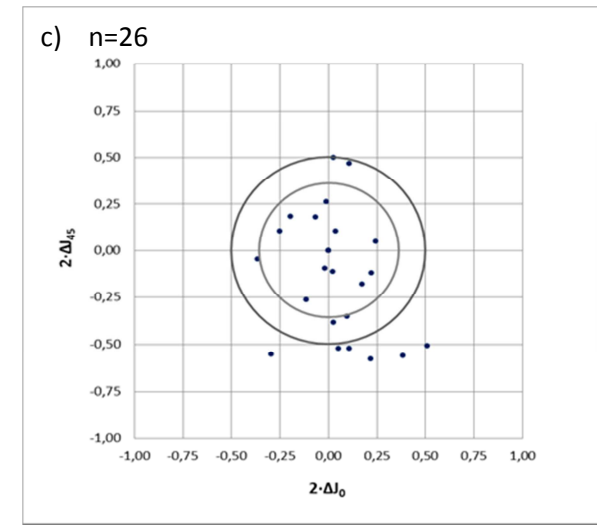
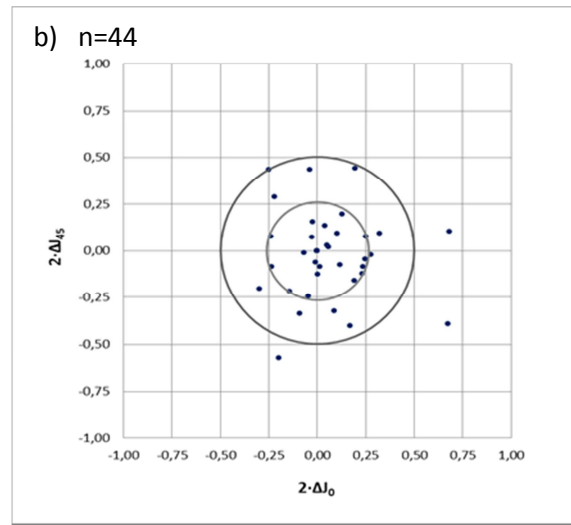
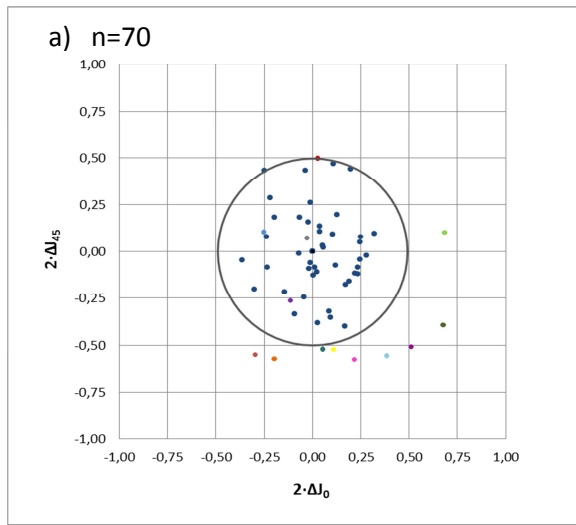
Die Darstellung der Diagramme erfolgt nach dem gleichen Schema, dass zu Beginn des Kapitels 5.3 erläutert wurde.

Bei Betrachtung aller Messpunkte der monokularen Messung ist zu erkennen, dass 87% der Messpunkte (61 Augen) innerhalb einer totalen astigmatischen Differenz von 0,5 dpt liegen. Die Messpunkte die innerhalb des Kreises liegen, streuen gleichmäßig um den Nullpunkt. Außerhalb des 0,5 dpt - Kreises liegen 13% der Messungen (9 Augen). In Abbildung 18 b) sind alle Messpunkte mit einem Zylinder von -1,75 dpt bis -2,5 dpt dargestellt. Auch hier verteilen sich die Messwerte gleichmäßig um den Nullpunkt. 93% der Messpunkte (41 Augen) liegen innerhalb des 0,5 dpt - Kreises und 7% (3 Augen) liegen außerhalb der Grenze. Zwei Messpunk-

te liegen sehr weit vom Nullpunkt entfernt und haben eine totale astigmatische Differenz von 0,69 dpt bzw. 0,78 dpt. 27% der Messpunkte liegen außerhalb des kleineren Grenzbereiches. In Abbildung c) sind generell die Punkte weiter gestreut als in Abbildung b). Hier liegen 23% der Messpunkte (6 Augen) außerhalb des 0,5 dpt-Kreises, jedoch alle im Bereich der TAD kleiner 0,75 dpt. 77% der Messungen liegen innerhalb des 0,5 dpt – Kreises und 58% liegen innerhalb der 0,36 dpt Grenze.

In Abbildung 19 ist die Reproduzierbarkeit der binokularen Messung am Zyklofusionstest dargestellt. In Darstellung a) ist zu erkennen, dass alle Messpunkte gleichmäßig um den Nullpunkt des Zielscheibendiagramms liegen. 90% der Messpunkte (63 Augen) liegen innerhalb der TAD von 0,5 dpt. 10% der Messpunkte (7 Augen) sind außerhalb des Kreises. Davon liegen jedoch alle, bis auf einen, innerhalb einer totalen astigmatischen Differenz von 0,75 dpt. In Darstellung b) ist zu erkennen, dass 91% der Messpunkte (40 Augen) innerhalb der 0,5 dpt Grenze liegen. Nur vier Messwerte befinden außerhalb des Grenzbereichs, davon hat einer eine totale astigmatische Differenz von 0,87 dpt. Die anderen drei Werte sind sehr nahe an der 0,5 dpt Grenze. Bei der Darstellung für Zylinder  $<-2,5$  dpt, fällt wiederholt auf, dass die Messwerte weiter vom Nullpunkt entfernt sind, als bei den kleineren Zylindern. Hier liegen insgesamt 77% der Messpunkte (20 Augen) innerhalb des 0,36 dpt - Kreises und 88% (23 Augen) innerhalb des 0,5 dpt – Kreises. Die Ausreißer liegen alle im Bereich TAD kleiner bzw. gleich 0,75 dpt.

Vergleicht man Abbildung 18 mit Abbildung 19 fällt auf, dass die Verteilung der Messpunkte sehr ähnlich ist. Bei beiden Abbildungen, liegen die Messwerte bei Zylinderbeträgen größer 2,5 dpt weiter vom Nullpunkt entfernt. Die in Abbildung a) farbig markierten Messpunkte dienen als Vergleich, ob Messwerte die in einer Messmethode außerhalb des Toleranzbereiches liegen, dies auch bei der anderen Methode tun. Es ist zu erkennen, dass zwei Messpunkte bei beiden Methoden außerhalb der Toleranz liegen. Auf diese wird im Kapitel 6 noch näher eingegangen. Die anderen Messpunkte liegen bei der einen Prüftechnik außerhalb und bei der anderen innerhalb der Toleranz.

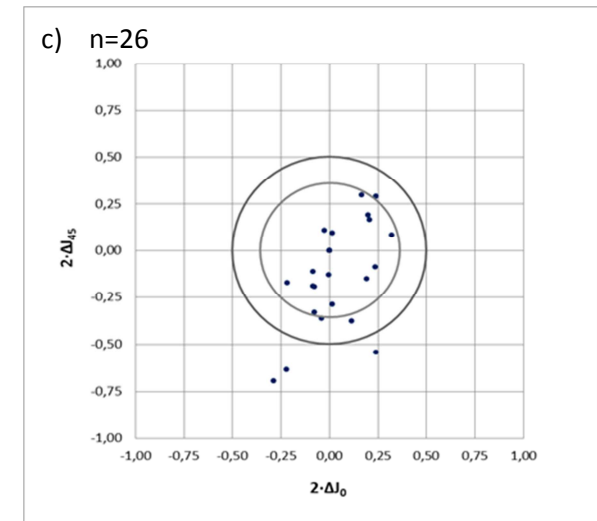
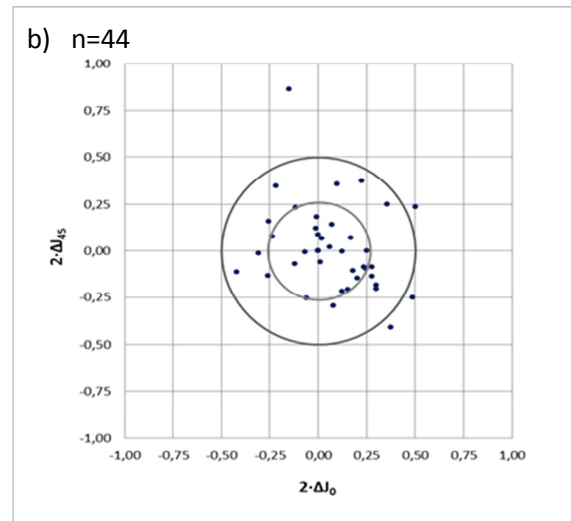
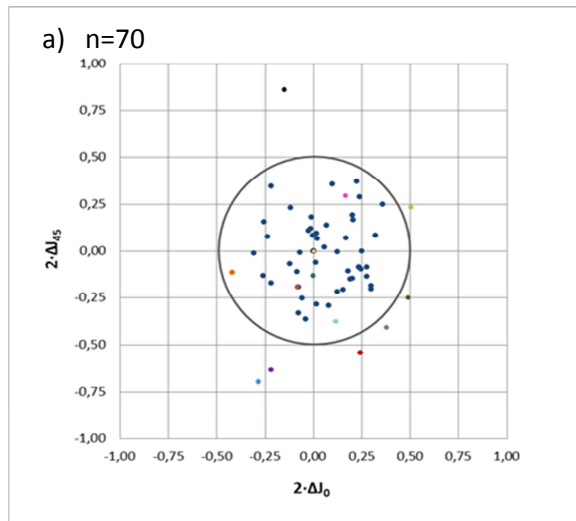


**Abbildung 18: Reproduzierbarkeit der monokularen Messung**

a) Darstellung aller Messpunkte

b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt

c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt



**Abbildung 19: Reproduzierbarkeit der binokularen Messung am Zyklofusionstest**

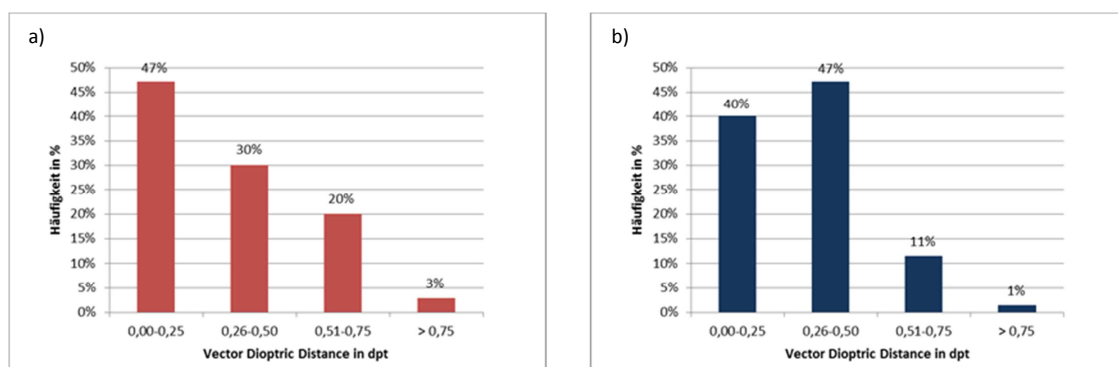
a) Darstellung aller Messpunkte

b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt

c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt

### Vector Dioptric Distance (VDD)

Da im sphärischen Äquivalent die Zylinderachse vernachlässigt wird, ist in Abbildung 20 die Vector Dioptric Distance (VDD) bei der monokularen Messung (a) und der binokularen Messung (b) dargestellt. Bei der monokularen Messung unterscheiden sich die beiden Refraktionen bei 47% gar nicht und bei 30% der Messungen ergibt sich eine VDD von 0,25 bis 0,50 dpt. Eine größere Vector Dioptric Distance als 0,50 dpt wird bei 20% gemessen. Eine VDD von größer 0,75 dpt weisen nur 3% auf, was zwei Messungen entspricht. Betrachtet man die VDD für die binokulare Refraktion ist zu erkennen, dass bei 40% die VDD einen Betrag von 0 dpt aufweist und sich bei 47% die beiden binokularen Refraktionen zwischen 0,25 und 0,5 dpt unterscheiden. Bei 11% unterscheiden sich die Refraktionen um mehr als 0,5 dpt, aber um weniger als 0,75 dpt. Nur bei einer Messung (1%) ist die VDD größer als 0,75 dpt. Vergleicht man nun beide Diagramme miteinander, wirkt die Verteilung der VDD sehr unterschiedlich. Um zu prüfen, ob sich die Verteilungen unterscheiden, wird der  $\chi^2$ -Test angewandt. Dieser ergibt ein  $\chi^2$  von 5,04 und ist somit kleiner als  $\chi^2_{\text{krit}, 5\%, df=2}$  mit dem Wert von 5,991. Somit sind die Unterschiede zufällig entstanden und die beiden Prüfverfahren sind in ihrer Reproduzierbarkeit als gleich anzusehen.



**Abbildung 20: Darstellung der Vector Dioptric Distance bei der a) monokularen und b) binokularen Messung**

## 5.5 Visus

In jedem Messdurchgang wird sowohl der monokulare und binokulare Visus nach der monokularen Refraktion, als auch der monokulare und binokulare Visus nach dem binokularen Abgleich am Zyklofusionstest bestimmt. Die folgende Tabelle 3 zeigt die Auswertung der monokularen Visusprüfungen. In Tabelle 4 sind die binokularen Visusprüfungen dargestellt. Wenn eine „bessere Visusstufe“ erreicht wurde, handelt es sich dabei immer um einen maximalen Visusanstieg von einer Visusstufe. Wie in der Tabelle 2 dargestellt, gehen in die Bewertung der Sehschärfe alle Augen der 41 Probanden ein. In der ersten Messung ergab sich bei 72% der Fälle und in der zweiten Messung in 77% der Fälle für beide Messmethoden die gleiche Visusstufe. Bei 21% bzw. 20% wurde durch die reine monokulare Refraktion eine bessere Visusstufe erreicht. Hier ist der Anteil höher als bei dem binokularen Abgleich durch den Zyklofusionstest. Durch den binokularen Abgleich haben 7% bzw. 4% eine bessere Visusstufe erzielt.

**Tabelle 3: Darstellung des monokularen Visus (n=82 Augen)**

	1. Messung (Prozent/Fallzahl)	2. Messung (Prozent/Fallzahl)
Beide Methoden führen zu gleicher Visusstufe	72% / 59	77% / 63
Mit monokularer Refraktion bessere Visusstufe erreicht	21% / 17	20% / 16
Mit binokularem Abgleich bessere Visusstufe erreicht	7% / 6	4% / 3

Tabelle 4 zeigt die Auswertung der binokularen Sehschärfe. Hier wurde in der ersten Messung in 78% und in der zweiten Messung in 85% der Fälle die gleiche Visusstufe erreicht. Es fällt auf, dass die unteren beiden Gruppen ausgewogener sind als in Tabelle 3. So wurde sowohl in der ersten als auch in der zweiten Messung bei 7% der Messungen eine bessere Visusstufe durch die monokulare Refraktion erreicht. Der binokulare Abgleich am Zyklofusionstest führte dazu, dass 15% bzw. 7% eine bessere Visusstufe erzielt haben.

**Tabelle 4: Darstellung des binokularen Visus (n=41 Augenpaare)**

	1. Messung (Prozent/Fallzahl)	2. Messung (Prozent/Fallzahl)
Beide Methoden führen zu gleicher Visusstufe	78% / 32	85% / 35
Mit monokularer Refraktion bessere Visusstufe erreicht	7% / 3	7% / 3
Mit binokularem Abgleich bessere Visusstufe erreicht	15% / 6	7% / 3

## 5.6 Befragung der Probanden

Jeder Proband wird nach der Messung befragt, welches Testverfahren für ihn einfacher zu beurteilen war. 56% (23 Probanden) der Probanden finden das monokulare Messverfahren und 15% (6 Probanden) das binokulare Messverfahren einfacher zu beurteilen. 29% (12 Probanden) der Probanden können keinen Unterschied in der Beurteilung feststellen. Des Weiteren konnten die Probanden nach der Messung ihre freie Meinung dazu äußern, ob sie während der Messung etwas als gut bzw. störend empfunden haben. In der unten dargestellten Tabelle sind

einige Beschreibungen der Probanden aufgeführt. Auf die Aufführung von Einzelnennungen wird aus Gründen der Übersichtlichkeit verzichtet. Es sind Doppelnennungen einzelner Probanden möglich.

**Tabelle 5: Negative Aspekte aus Probandenbefragung (n=25 Probanden)**

Der/Am Zyklolfusionstest...	Nennungen
„ist sehr voll“	6
„ist irritierend“	3
„ist anstrengend und unangenehm“	8
„ist unruhig, die Buchstaben wackeln“	4
„ist eine Zeile schlechter zu erkennen“	6
„ist zeitweise nur eine Zeile zu erkennen“	4
„fällt die Konzentration schwer“	6

**Tabelle 6: Positive Aspekte aus der Probandenbefragung (n=8 Probanden)**

Der/Am Zyklolfusionstest	Nennungen
„ist angenehmer, dass Sehen ist natürlicher“	5
„ist interessant und abwechslungsreich“	3
„sind Unterschiede besser zu erkennen“	2

## 5.7 Dauer der Messung

Um den zeitlichen Aufwand der beiden Methoden vergleichen zu können, wurde die jeweils benötigte Zeit für die Messung notiert. Für die monokulare Refraktion ergibt sich eine durchschnittliche Prüfdauer von 15 Minuten. Wobei hier zu erwähnen ist, dass einzelne Refraktionen deutlich mehr bzw. weniger Zeit in Anspruch genommen haben. Um dies besser verdeutlichen zu können wird die Standardabweichung berechnet. Für die monokulare Messung ergibt sich eine Standardabweichung von 5 Minuten. Bei der Betrachtung des zeitlichen Aufwandes für den reinen binokularen Abgleich fällt auf, dass bei der ersten Durchführung die Prüfdauer mit 12 Minuten um 3 Minuten länger ist, als beim wiederholten Durchführen der Messung. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass die Prüfweise für die Probanden neu ist und noch eine große Unsicherheit in der Beurteilung besteht. Im zweiten

Durchlauf wissen die Probanden besser, auf was sie achten müssen und können daher schneller und präziser antworten. Für die Beurteilung des zeitlichen Aufwandes für den binokularen Abgleich wird daher der zweite Durchlauf als Richtwert angenommen. Es ergibt sich für den binokularen Abgleich am Zyklofusionstest eine durchschnittliche Prüfdauer von 9 Minuten  $\pm$  2 Minuten.

## 6. Diskussion

Das Ergebnis einer Refraktionsbestimmung ist von mehreren Faktoren abhängig. Dabei ist zu beachten, dass vor allem Schwankungen die durch die subjektiven Einflüsse des Probanden und des Refraktionisten verursacht wurden, tageszeitliche und physiologische Schwankungen überlagern. [12] Dies sollte bei der Beurteilung von Refraktionen stets berücksichtigt werden.

Im Folgenden sollen nun die gemessenen Ergebnisse diskutiert und auch mögliche Fehlerquellen aufgezeigt werden.

### 6.1 Erläuterung der Ergebnisse

#### 6.1.1 Prüfung auf Verrollung mit dem Maddoxzylinder

Im Folgenden soll diskutiert werden, ob sich ein Zusammenhang zwischen der Verrollung und der Drehung der Zylinderachse ergeben hat. In Kapitel 5.2 wurde die Verdrehung der Maddoxzylindern aller 41 Augenpaaren dargestellt. Um jedoch die Verdrehung der Maddoxzylinder mit der Verdrehung der Zylinderachse vergleichen zu können, werden die Augen einzeln betrachtet.

Es wird auf 15 von 41 Messungen näher eingegangen. Bei diesen Augen wurde bei der Verdrehung der Maddoxzylinder eine größere Abweichung als  $2^\circ$  gemessen.

Unter Kapitel 2.4 wird angenommen, dass die Verdrehung die mit den Maddoxzylindern gemessen wird, die gleiche Richtung aufweist, wie der mögliche Achsunterschied des Zylinders der in der Refraktion gemessen wird. Um vergleichen zu können ob ein tatsächlicher Zusammenhang besteht, wird in Tabelle 7 die Drehung der Zylinderachse im Zusammenhang zu der Verdrehungsrichtung der Maddoxzylinder dargestellt. Die Ergebnisse werden einmal in Anlehnung an die DIN EN ISO 21987 und einmal ohne Berücksichtigung dieser ausgewertet.

Die DIN EN ISO 21987 besagt, dass die Achse bei einem Zylinderbetrag von 1,75 bis 2,5 dpt um  $3^\circ$  und bei einem Zylinderbetrag  $>2,5$  dpt um  $2^\circ$  verändert werden darf. Unter Berücksichtigung dieser Norm wurde bei 11 Augen in der ersten Messung und bei 14 Augen in der zweiten Messung keine Achsverdrehung in der Refraktion gemessen, obwohl sich eine Verdrehung der Maddoxzylinder ergeben hat. In der ersten Messung wurde bei vier Augen zwischen der monokular und binokular bestimmten Zylinderachse ein Unterschied festgestellt. Davon entspricht bei zwei Augen die Richtung des Achsunterschiedes der Richtung der Lichtbandänderung an der Maddoxlampe. Bei den zwei anderen Augen, zeigt die Verdrehung der

Zylinderachse in die entgegengesetzte Richtung. In der zweiten Messung wurde nur bei einem Auge ein Unterschied zwischen der monokular und binokular bestimmten Zylinderachse festgestellt. Die Verdrehung der Zylinderachse entspricht bei diesem Auge der Richtung der Verrollung.

In der Tabelle 7 ist zu erkennen, dass in der ersten Messung zu 73% (11 Augen) und in der zweiten Messung zu 93% (14 Augen) kein Unterschied zwischen der monokular und binokular bestimmten Zylinderachse festgestellt wurde. Um zu vermeiden, dass durch die Annahme der DIN Norm ein möglicher Zusammenhang zwischen der Messung mit den Maddoxzylindern und der Achsverdrehung der Zylinderstärke übersehen wird, ist in der rechten Spalte der Tabelle 7 erneut die Verdrehungsrichtung der Maddoxzylinder in Zusammenhang zur Zylinderachsverdrehung dargestellt. Dabei wird jedoch die DIN Norm außer Acht gelassen und jede Graddrehung, die in der Refraktion gemessen wird, beachtet.

Hier wurde in der ersten Messung bei sechs Augen und in der zweiten Messung bei fünf Augen, unter binokularen Bedingungen exakt die gleiche Zylinderachse bestimmt wie unter monokularen Bedingungen. In der ersten Messung zeigt bei drei Augen die Achsdrehung des Zylinders in die gleiche Richtung wie die Verdrehung des Maddoxzylinders und bei sechs Augen in die entgegengesetzte Richtung. In der zweiten Messung ist die Verteilung ähnlich. Hier ergab sich bei fünf Augen die gleiche Richtung für die Verrollung und die Drehung der Zylinderachse und bei fünf zeigte die Verrollung in die entgegengesetzte Richtung wie die Drehung der Zylinderachse.

**Tabelle 7: Darstellung der Drehung der Zylinderachse im Zusammenhang zu der Verdrehungsrichtung der Maddoxzylinder in Anlehnung an die DIN EN ISO 21987 und ohne Berücksichtigung der DIN. (n=15 Augen)**

	Anlehnung an die DIN		Ohne Anlehnung	
	1.Messung	2. Messung	1.Messung	2. Messung
<b>Drehung der Zylinderachse in Richtung der Verrollung</b>	2	1	3	5
<b>Keine Drehung der Zylinderachse</b>	11	14	6	5
<b>Drehung der Zylinderachse in die entgegengesetzte Richtung der Verrollung</b>	2	0	6	5

Die im Kapitel 2.4 erläuterte Theorie kann somit nicht belegt werden. Es ist kein Zusammenhang zwischen der Richtungsänderung der Zylinderachse und der Verdrehungsrichtung des Maddoxzylinders zu erkennen.

Es ist jedoch auch zu betonen, dass sich die Prüfung mit den Maddoxzylindern als schwierigere Prüftechnik erwies als erwartet. Da die Probanden nach dem Einsetzen des Maddoxzylinders keine Orientierungslinie mehr hatten, ist es ihnen schwer gefallen die 90° Einstellung zu finden. Durch die einmalige Messung, kann keine Reproduzierbarkeit des Testes bewertet werden. Um



eine bessere Aussage treffen zu können, sollte daher der Test wiederholt oder ein anderer Versuchsaufbau entwickelt werden. Beispielsweise könnten die Drehbewegungen der Augen durch Eye-tracking beobachtet werden. Die Herausforderung dabei wird sein die im Ausmaß sehr geringen Augenbewegungen zu erfassen.

### 6.1.2 Vergleich der Refraktionsergebnisse

#### Differenz der sphärischen Äquivalente ( $\Delta M$ )

Vergleicht man die Diagramme für die Differenz der sphärischen Äquivalente, fällt auf, dass diese überwiegend im Bereich  $\pm 0,25$  dpt liegt. Diese 0,25 dpt liegen innerhalb der natürlichen Schwankungen des Sehens. Größere Abweichungen als 0,5 dpt gelten als signifikant. [17] Für den Vergleich von Refraktionen gibt es bisher keine festgelegten Bedingungen und es kann daher nur auf Erfahrungswerte für die Reproduzierbarkeit zurückgegriffen werden. Eine Studie für die Reproduzierbarkeit von Zadnik ergab für die Differenz im sphärischen Äquivalent eine mittlere Abweichung von  $-0,063 \pm 0,319$  dpt ( $MW \pm \sigma$ ). Die 95% Übereinstimmungsgrenzen lagen  $\pm 0,625$  dpt von der mittleren Refraktion entfernt. Eine neue Studie von MacKenzie ergab eine Standardabweichung von  $\pm 0,28$  dpt und somit lagen die 95% Übereinstimmungsgrenzen bei  $\pm 0,549$  dpt um den Mittelwert des sphärischen Äquivalents. [12] [18] Vergleicht man die Übereinstimmungsgrenzen aus den Studien mit den berechneten Grenzen, ist zu erkennen, dass sich die Ergebnisse sehr ähneln. Beim Vergleich der Refraktionsergebnisse aus der monokularen und binokularen Messung fand sich im sphärischen Äquivalent eine mittlere Abweichung von  $-0,07 \pm 0,22$  dpt im ersten Messdurchgang und im zweiten eine Abweichung von  $-0,03 \pm 0,15$  dpt. Dies spricht dafür, dass sich beide Messmethoden nicht voneinander unterscheiden.

Beim Vergleich der Refraktionsverfahren sind einige Ausreißer zu erkennen. Die Analyse der Ausreißer ergibt, dass die Abweichungen in der Differenz der sphärischen Äquivalente größer 0,5 dpt überwiegend durch sphärische Komponente bestimmt wurden. Die Zylinderachsen weichen bei diesen Messpunkten nur kaum ( $\max. 3^\circ$ ) voneinander ab. Auch bei der Zylinderstärke ist ein maximaler Unterschied von 0,25 dpt zu erkennen. Es kommt vereinzelt zu Visusveränderungen von einer Visusstufe.

#### PowerVektor – Analyse

Um die astigmatischen Abweichungen beurteilen zu können, wird auf die Zielscheibendiagramme im Folgenden genauer eingegangen.

#### *Eingezeichnete „Kreise“ im Zielscheibendiagramm*

Wie in Kapitel 4.6 erläutert, können die Kreise im Zielscheibendiagramm beliebig groß gewählt werden. In den dargestellten Zielscheibendiagrammen waren immer zwei unterschiedlich große Kreise dargestellt. Der große Kreis bezieht sich auf einen von Borish IM und Benjamin WJ veröffentlichten Artikel aus dem Jahr 1998 der besagt, dass bei einer Refraktion die durch den gleichen Prüfer wiederholt durchgeführt wird, die Sphäre bzw. der Zylinder um  $\pm 0,25$  dpt und

die Achse des Zylinders um  $5^\circ$  schwanken kann. [19] In Anlehnung an diesen Artikel ergab sich daher z.B. für eine Änderung des Zylinders von 2,25 dpt auf 2,5 dpt bei einer Achsdrehung von  $5^\circ$  eine AD von 0,246 dpt, was einer TAD von 0,5 dpt entspricht. Der Größe des kleineren Kreis ergab sich aus dem Bezug zu der DIN EN ISO 21987. Diese besagt, dass die Achse bei einem Zylinder von größer 1,5 bis 2,5 dpt bei der Einarbeitung um  $3^\circ$  verdreht werden darf. Bei einem Zylinder von größer 2,5 dpt nur noch um  $2^\circ$ . In Anlehnung an diese Regelung ergab sich für die kleineren Zylinder (1,75 bis 2,5 dpt) ein 0,26 dpt - Kreis und für alle Zylinder größer 2,5 dpt ein 0,36 dpt – Kreis. Im Anhang ist die Berechnung für die Größe der Kreise dargestellt.

### *Beurteilung der Zielscheibendiagramme*

Die Ergebnisse zwischen den beiden Prüfverfahren sind sehr ausgeglichen und die Messpunkte streuen gleichmäßig um den Nullpunkt des Zielscheibendiagramms (vgl. Abbildung 14 und Abbildung 15). In der ersten Messung liegen die Messpunkte jedoch weiter vom Nullpunkt entfernt, als in der zweiten. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass die Probanden schon Erfahrungswerte sammeln konnten. Dadurch wussten sie beim zweiten Durchlauf auf welche Dinge sie während der Messung achten müssen. Des Weiteren ist zu beobachten, dass die Messpunkte mit stärkerem Astigmatismus weiter vom Nullpunkt entfernt liegen als kleinere Astigmatismen. Dies liegt daran, dass bei einem hohen Zylinder schon eine geringe Achsverdrehung zu einem großen resultierenden Fehler führt. Wird beispielsweise ein Zylinderbetrag von 3 dpt um  $4^\circ$  gedreht, entsteht ein resultierender Zylinder von 0,42 dpt (vgl. Formel unter Kapitel 4.4). Außerdem ist bei näherer Betrachtung der Zielscheibendarstellung aus der ersten Messung, zu erkennen, dass bei den stärkeren Zylindern die schräge Komponente ( $J_{45}$ ) größerer Abweichungen zeigt als die horizontale ( $J_0$ ). Dies ist vor allem in Abbildung 15 c) deutlich zu erkennen. Da in der ersten Messung sehr viele Messpunkte außerhalb des 0,5 dpt – Kreises liegen, werden im Folgenden nur die Messpunkte genauer betrachtet, die eine totale astigmatische Differenz von  $> 0,6$  dpt aufweisen.

### *Diskussion von Einzelfällen*

Im Folgenden werden 5 Messpunkte, die sehr weit vom Nullpunkt entfernt liegen, genauer betrachtet. Die Messpunkte sind in Abbildung 21 mit Zahlen markiert. Die Abbildung ist mit den Abbildungsteilen aus 14a und 15a identisch.

#### 1. Messpunkt:

Der Messpunkt weist eine TAD von 0,74 dpt auf und die schräge Komponente weicht stärker als die horizontale ab. Bei dem Proband wird unter monokularen und binokularen Bedingungen eine Zylinderstärke von -4,25 dpt bestimmt. Jedoch kommt es zu einer starken Achsverdrehung von  $15^\circ$  auf  $10^\circ$ . Zusätzlich wird die Sphäre unter binokularen Bedingungen um +0,25 dpt verstärkt. Es wurde jedoch bei beiden Ergebnissen ein Visus von 1,0 erzielt.

## 2. Messpunkt:

Der Messpunkt weist eine TAD von 0,79 dpt und die es kommt unter binokularen Bedingungen zu einer Zylinderstärkenabschwächung von 0,50 dpt. Auch bei diesem Messpunkt weicht  $\Delta J_{45}$  viel stärker vom Nullpunkt ab wie  $\Delta J_0$ . Die Achslage ändert sich zusätzlich zur Zylinderstärkenänderung um  $5^\circ$  (von  $162^\circ$  auf  $167^\circ$ ), bei einer binokularen Zylinderstärke von 3,25 dpt. Es wurde mit der monokularen Refraktion ein Visus von 1,0 und mit der binokularen Refraktion ein Visus von 1,25 erzielt. Es ergab sich somit eine Visusveränderung von einer Visusstufe.

## 3. Messpunkt:

Der Messpunkt weist eine TAD von 0,69dpt auf. Es ergab sich für  $2 \cdot \Delta J_0$  0,29 dpt und für  $2 \cdot \Delta J_{45}$  - 0,63 dpt. Zwischen der monokularen und binokularen Messung kommt es bei einer Zylinderstärke von 4 dpt zu einer Achsverdrehung von  $5^\circ$  (von  $10^\circ$  auf  $15^\circ$ ). Die Zylinderstärke und der Visus bleiben unverändert. Es ist jedoch zu beachten, dass nur in der ersten monokularen Messung eine Achse von  $10^\circ$  gemessen wurde und in den weiteren drei Messungen der Proband immer die Zylinderachse bei  $15^\circ$  am besten empfunden hat. Unter anderem kommt es zu einer Änderung der Sphäre um 0,25 dpt. Es ergab sich keine Veränderung in der Sehschärfe. Der Visus betrug mit beiden Refraktionen 1,25.

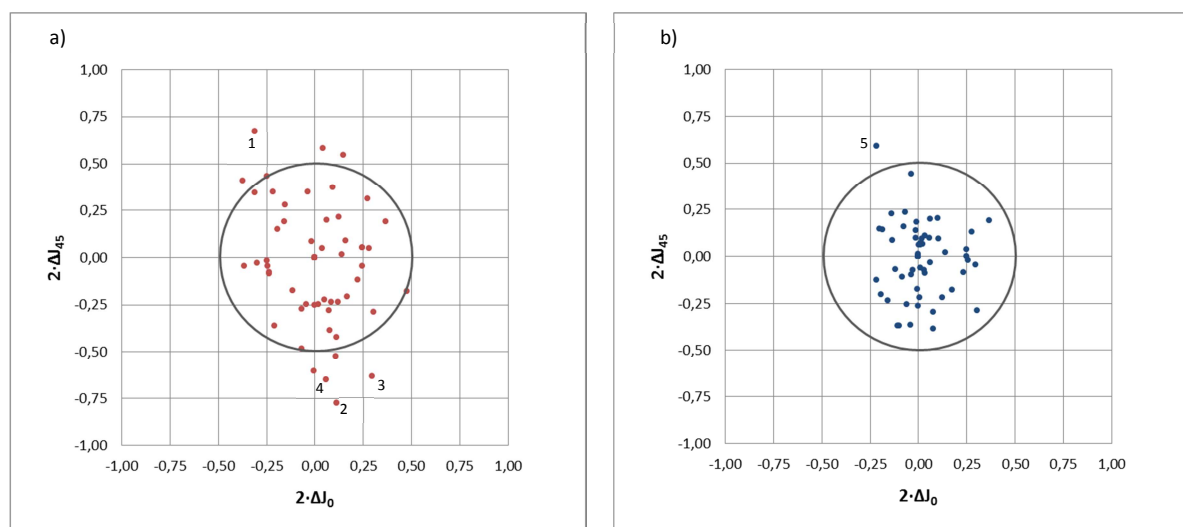
## 4. Messpunkt:

Der Messpunkt weist eine TAD von 0,65 dpt auf. Auch hier weicht die schräge Komponente des Kreuzzylinders stärker ab als die horizontale. Es wird bei einem Zylinder von -3,75 dpt eine Achsverdrehung von  $5^\circ$  gemessen. Die Achse wird von  $95^\circ$  auf  $90^\circ$  verdreht. Es ist zu betonen, dass die Achse nur in der ersten monokularen Messung derart abgewichen ist. Die Sphäre bleibt unverändert. Es ergab sich keine Veränderung in der Sehschärfe.

Bei diesen 4 Messpunkten ist immer die  $45^\circ/135^\circ$  Komponente des Jackson Kreuzzylinders die stärker abweichende Komponente. Anhand der Auswertung der Messpunkt ist jedoch zu erkennen, dass sich keine einheitliche Verdrehungsrichtung feststellen lässt. Des Weiteren sieht es so aus, als würde sich die binokular gemessene Zylinderachse tatsächlich von der monokular bestimmten Achse unterscheiden. Bei allen 4 Messpunkten bzw. Probanden ist jedoch auch ein Unterschied zwischen der im ersten Durchlauf bestimmten Zylinderachse unter monokularen Bedingungen und der im zweiten Durchlauf bestimmten Achse unter monokularen Bedingungen von mindestens  $3^\circ$  und maximal  $5^\circ$  festzustellen. Daraus kann man schließen, dass sich zwar ein Unterschied zwischen der monokular und binokular bestimmten Zylinderachse ergibt, allerdings auch ein Unterschied zwischen den beiden Ergebnissen der monokularen Refraktion festzustellen ist.

### 5. Messpunkt:

Des Messpunkt weist eine TAD von 0,63 dpt auf. Es fällt auf, dass die Zylinderstärke um 0,25 dpt und die Zylinderachse um  $7^\circ$  verändert wird. Der Proband hat sich sowohl bei der monokularen Kreuzzylindermethode unter binokularen Bedingungen, als auch bei der monokularen Kreuzzylindermethode sehr schwer mit der Beurteilung getan. Außerdem hat er nach der Messung betont, dass er den Zyklofustest als sehr anstrengend empfunden hat. Obwohl allein durch die Achsdrehung ein resultierender Zylinder von 0,6 dpt entsteht, ist keine Verminderung der Sehschärfe zu beobachten. Der Proband erreicht mit beiden Ergebnissen einen Visus von 1,6.



**Abbildung 21: Astigmatismus aus monokularer und binokularer Messung aus dem a) 1. und b) 2. Durchlauf**

Zusammenfassend ist festgestellt, dass eine Verdrehung der Achse um einen bestimmten Betrag bei kleineren Zylindern zu einem kleineren Fehler in der Korrektur führt, als bei einem großen Zylinder. [12] Da nur Probanden vermessen wurden mit einem Zylinderbetrag ab 1,75 dpt fallen auch hier schon geringere Achsverdrehungen ins Gewicht.

### Vector Dioptric Distance (VDD)

Durch die VDD wird zusätzlich zu Sphäre und Zylinder noch die Zylinderachse berücksichtigt. Jedoch fällt auch hier bei der Betrachtung der Ausreißer auf, dass diese überwiegend durch ihre sphärische Komponente bestimmt wurden. Die Messwerte die eine VDD von 0,5 bis 0,75 dpt und größer haben, sind größtenteils die gleichen Ausreißer wie bei der Differenz der sphärischen Äquivalente. Bei diesen ist nur ein geringer Unterschied in der Zylinderstärke (0,25 dpt) und in der Zylinderachse ( $3^\circ$ ) festzustellen. Ein Messpunkt wird jedoch durch Sphäre, und Achse bestimmt. Eine damit einhergehende Visusreduzierung kann jedoch nicht festgestellt werden. Es wurde immer die gleiche Visusstufe erreicht. Im zweiten Messdurchgang unterscheiden sich die monokulare und binokulare Refraktion nur noch geringfügig. Nur bei

zwei Augen ergab sich eine VDD von größer 0,5 dpt jedoch kleiner als 0,75 dpt. Auch diese beiden Messpunkte werden überwiegend durch eine Änderung der Sphäre um 0,25 dpt bzw. 0,5 dpt bestimmt. Bei einem Auge wurde zusätzlich die Zylinderstärke um 0,25 dpt verändert. Auch bei diesen beiden Messungen blieb der Visus unverändert.

### 6.1.3 Reproduzierbarkeit

#### Differenz der sphärischen Äquivalente ( $\Delta M$ )

Bei der Betrachtung der Abbildung 17 fällt auf, dass die Differenzen der sphärischen Äquivalente überwiegend im Bereich von  $\pm 0,25$  dpt liegen. Bei der monokularen Messung liegen 87% und bei der binokularen Messung 93% innerhalb der Differenz der sphärischen Äquivalente von  $\pm 0,25$  dpt. Wie unter Kapitel 6.1.2 erläutert, liegt dies innerhalb der natürlichen Schwankungen des Sehens und nur Abweichungen von mehr als 0,5 dpt gelten als signifikant. In Abbildung 17 ist zu erkennen, dass sich nur bei der monokularen Messung ein  $\Delta M$  von kleiner -0,5 dpt ergeben hat. Dies war nur bei einem Probanden der Fall. Dieser ist jedoch in den meisten Diagrammen als Ausreißer zu erkennen. Er ist beispielsweise als „Messpunkt 3“ in Kapitel 6.1.2 wieder zu finden.

Um die Reproduzierbarkeit jedoch besser beurteilen zu können wurden die 95% Übereinstimmungsgrenzen sowohl für die monokulare als auch für die binokulare Messung berechnet. Für die monokulare Messung ergab sich im sphärischen Äquivalent eine mittlere Differenz von  $-0,04 \pm 0,20$  dpt und für die binokulare Messung eine mittlere Differenz von  $0,0 \pm 0,19$  dpt. Für die 95% Übereinstimmungsgrenzen ergaben sich somit für die monokulare Messung  $\pm 0,39$  dpt und für die binokulare Messung  $\pm 0,37$  dpt. Vergleicht man die 95% Übereinstimmungsgrenzen mit den Ergebnissen von Zadnik ( $\pm 0,625$  dpt) und MacKenzie ( $\pm 0,549$  dpt), ist zu erkennen, dass sich die Ergebnisse sehr ähneln.[12] [18]. Da sich für die monokulare Refraktion eine ähnliche 95% Übereinstimmungsgrenze ergeben hat wie für die binokulare, weisen beide Messverfahren eine vergleichbare Reproduzierbarkeit auf.

#### PowerVektor - Analyse

Bei der Beurteilung der Messpunkte im Zielscheibendiagramm ist festzustellen, dass die Verteilung der monokularen Reproduzierbarkeit der Verteilung der binokularen Reproduzierbarkeit sehr ähnelt. Um die Reproduzierbarkeit besser beurteilen zu können, ermittelte MacKenzie im Rahmen seiner Studie für die Zylinderkomponente  $J_0$  und  $J_{45}$  die Standardabweichungen. Diese ergab  $\pm 0,084$  bzw.  $\pm 0,086$  dpt. Für die Reproduzierbarkeit der monokularen Messung ergab sich eine Standardabweichung von  $\pm 0,10$  dpt für  $J_0$  und  $\pm 0,13$  dpt für  $J_{45}$ . Für die Messung mit dem Zyklofusionstest ergab sich eine Standardabweichung von  $\pm 0,10$  dpt für  $J_0$  bzw.  $\pm 0,12$  dpt für  $J_{45}$ . Die Standardabweichung ist für beide Verfahren annäherungsweise gleich groß. Jedoch ist die Standardabweichung im Vergleich zu McKenzie erhöht. Der Studienaufbau von McKenzie differierte jedoch (1 Proband, 40 Prüfer) und daher können die beiden Messmethoden als annähernd gleichwertig und reproduzierbar angenommen werden. [17]

In der Zielscheibendarstellung in Kapitel 5.4 wurden einzelne Messpunkte farbig markiert um zu unterscheiden, ob die Messpunkte die in einer Messmethode außerhalb des Grenzbereiches liegen, bei der anderen Messmethode auch außerhalb liegen. Aus der Verteilung der Messpunkte konnte jedoch keine Regelmäßigkeit oder ein „Schema“ erkannt werden. Nur zwei Messwerte liegen sowohl bei der Reproduzierbarkeit der monokularen Messung, als auch bei der Reproduzierbarkeit der binokularen Messung außerhalb der totalen astigmatischen Differenz von 0,5dpt. Auf diese zwei Messpunkte soll noch etwas genauer eingegangen werden. Die zwei Messpunkte sind in Abbildung 18 und Abbildung 19 in hell- und dunkelgrün gekennzeichnet.

#### *„Hellgrüner“ Messpunkt*

Werden die monokularen Messungen mit einander verglichen, erkennt man wie sich die Zylinderstärke um 0,5 dpt und die Zylinderachse um 4° verändert. Der Visus bleibt jedoch gleich. Der Messpunkt liegt um 0,69 dpt vom Nullpunkt entfernt. Zwischen den beiden binokularen Messungen ergeben sich nicht so starke Unterschiede in der Refraktion (TAD=0,55 dpt). Hier weicht der Zylinder um 0,25 dpt und die Achse um 6° voneinander ab. Die Sehschärfe hat sich dadurch um eine Visusstufe verringert.

#### *„Dunkelgrüner“ Messpunkt*

Unter den monokularen Messungen ist keine Abweichung des Zylinders festzustellen. Bei einer Zylinderstärke von 2,25 dpt wird die Achse jedoch um 10° verdreht. Dadurch wird statt der Sehschärfe von 1,0 nur noch ein Visus von 0,8 erreicht. Der Messpunkt weist eine TAD von 0,78 dpt auf. Werden die binokularen Ergebnisse miteinander verglichen, wird auch hier nur eine Achsverdrehung von 7° festgestellt. Der Visus wurde von dieser Veränderung nicht beeinflusst. Durch die geringeren Abweichung in der Refraktion unter binokularen Bedingungen liegt der Messpunkt näher am Ursprung des Zielscheibendiagramm (TAD=0,55).

#### Vector Dioptric Distance (VDD)

In Abbildung 20 ist die VDD bei der monokularen und binokularen Messung dargestellt. Bei der monokularen Messung weisen 77% der Fälle eine VDD von 0 bis 0,50 dpt auf. Bei der binokularen Messung weisen sogar 88% eine VDD von 0 bis 0,50 dpt auf. Die Abbildung erweckt den Anschein, dass die Reproduzierbarkeit für die binokulare Messung eine deutlich bessere ist wie für die monokulare. Der  $\chi^2$  – Test belegt jedoch, dass die Verteilung für die monokulare Messung die gleiche ist, wie für die binokulare Messung. Die Reproduzierbarkeit ist somit für beide Verfahren als ähnlich anzusehen.

Bei drei Messpunkten ergab sich eine VDD von größer 0,75 dpt. Diese drei Messpunkte werden als Messpunkt 1, 2 und 3 in Kapitel 6.1.2 näher beschrieben.

#### **6.1.4 DIN EN ISO 21987**

Bei der Analyse der Zielscheibendiagramme ist aufgefallen, dass sehr viele Messwerte außerhalb der Grenzbereiche von der DIN liegen. Die zugelassenen Grenzabweichungen in der Fertigung von Korrektionsbrillen sind daher viel enger als die natürlichen Sehschwankungen. Das heißt die Korrektionsbrille kann exakter gefertigt, als die Sehstärke überhaupt bestimmt werden kann. Dies sollte natürlich auch so sein, damit Schwankungen in der Refraktion nicht noch zusätzlich durch Veränderungen in der Fertigung negativ verstärkt werden. Des Weiteren diene hier die DIN vor allem als Anhaltspunkt, um besser unterscheiden zu können wann sich eine Refraktion relevant geändert hat.

#### **6.1.5 Visus**

Anhand der Darstellung in Tabelle 3 ist zu erkennen, dass häufig die monokular bestimmte Refraktion zu einem besseren Visus führt. Dies ist unter anderem dadurch zu erklären, dass normalerweise nach dem binokularen Abgleich die Augen nicht mehr einzeln betrachtet werden. Die Stärke wird so gemessen, dass ein optimales Zusammenspiel zwischen dem rechten und linken Auge ermöglicht wird. Um jedoch vergleichen zu können, ob es durch den binokularen Abgleich zu einer Minderung der Sehschärfe kommt, wurde nach dem Abgleich nochmal der monokulare Visus bestimmt. In der 1. Messung führen 23 von 82 Messwerten und in der 2. Messung 19 von 82 Messwerten zu einer unterschiedlichen Visusstufe (vgl. Tabelle 3). Um besser nachvollziehen zu können, ob die Visusabweichungen durch eine veränderte Refraktion verursacht wurden, ist in Tabelle 8 der monokulare Visus in Abhängigkeit von den Refraktionsergebnissen aus der ersten monokularen und binokularen Messung dargestellt. Hier wird unterschieden zwischen einer geänderten Refraktion und einer relevant geänderten Refraktion. Als relevant geänderte Refraktionen wurden die Refraktionsergebnisse eingestuft, bei denen sich zwischen der monokularen und binokularen Refraktion eine Vector Dioptric Distance von 0,5 dpt und mehr ergeben hat. Es ist zu erkennen, dass sich bei 40 Augen die monokulare Refraktion von der binokularen unterschieden hat, sich bei 11 Augen die Refraktion relevant geändert und trotzdem die gleiche Visusstufe erzielt wurde. Nur bei acht Augen war die Refraktion genau identisch. Bei insgesamt 17 Augen wurde nach der monokularen Messung ein besserer Visus erreicht als nach der binokularen Messung. Hier haben sich bei 11 Augen die Refraktionen leicht und bei drei Augen relevant unterschieden. Bei drei Augen ergab sich für die monokulare Refraktion das gleiche Ergebnis wie für die binokulare Refraktion und trotzdem wurde mit der monokularen Refraktion eine bessere Visusstufe erzielt. Mit dem binokularen Abgleich wurde bei sechs Augen eine bessere Sehschärfe erzielt. Bei vier Augen haben sich die monokulare und binokulare Refraktion nur geringfügig unterschieden und bei zwei Augen ergab sich eine VDD von größer 0,5 dpt.

Anhand der Tabelle ist gut zu erkennen, dass häufig eine unterschiedliche Visusstufe erzielt wurde, obwohl sich die Refraktionen nur geringfügig unterschieden haben. Beziehungsweise dass manchmal auch die gleiche Visusstufe erzielt wurde, obwohl die Refraktion stärker verändert wurde. Dies zeigt, dass auch die Sehschärfe schwankt und nicht konstant ist. Des

Weiteren kann durch zufälliges „besseres raten“ eine höhere Visusstufe erreicht werden. Die Auswertung der erzielten Visusstufen spricht dafür, dass die monokulare Refraktion und die binokulare Refraktion am Zyklofusionstest zu einem gleichwertigen Ergebnis kommen.

Es ist zu berücksichtigen, dass sich einige Messpunkte aus den unterschiedlichen Visusergebnissen ebenfalls als Ausreißer in den Zielscheibendiagrammen wieder finden.

**Tabelle 8: Ursachen für die Visusänderungen zwischen der ersten monokularen und binokularen Messung.**  
**Wenn sich die binokulare Refraktion von der monokularen um eine VDD von 0,5dpt unterscheidet, gilt diese als „relevant geänderte Refraktion“. (n=82 Augen)**

	Geänderte Refraktion	Relevant geänderte Refraktion	Gleiche Refraktion	Summe
Beide Methoden führen zu gleicher Visusstufe	40	11	8	59
Mit monokularer Refraktion bessere Visusstufe erreicht	11	3	3	17
Mit binokularem Abgleich bessere Visusstufe erreicht	4	2	0	6
Summe	55	16	11	82

#### 6.1.6 Befragung der Probanden

Nach jeder Messung wurden die Probanden zu den beiden Messverfahren befragt. Dadurch erfährt man, wie die Probanden die verschiedenen Messverfahren aus ihrer Sicht erleben und ob der neue Zyklofusionstest anerkannt wird. Des Weiteren dient die Befragung dazu, sich als Prüfer in den Probanden hineinversetzen zu können und den anderen Probanden dadurch die Messung so angenehm wie möglich gestalten zu können. Für 23 der 41 Probanden (56%) war die klassische monokulare Refraktion mit der Beurteilung des Zylinders am Doppelkreis am angenehmsten. Vor allem Probanden die kein „gutes und ausgewogenes“ Binokularsehen hatten, empfanden den Zyklofusionstest als eher unangenehm und anstrengend. Es war eine hohe Konzentration nötig, um alle Sehzeichen gleichzeitig zu sehen. Dies führte zu einer erschwerten Beurteilung bei der Befragung mit dem Kreuzzylinder unter binokularen Bedingungen. In der Beschreibung für Einzelfälle wird auf solch einen Probanden näher eingegangen. Von den 23 Testpersonen hatten fünf verstärkt Probleme mit dem Binokularsehen am Zyklofusionstest. Beispielsweise beschrieben die Probanden, dass die Buchstaben stark „wackeln“ oder „flackern“ oder zeitweise eine ganze Zeile verschwunden war. Des Weiteren zeigt sich, dass das Entscheiden der richtigen Wendelage am Zyklofusionstest, durch die vielen anderen Sehzeichen, die um den Doppelkreis liegen, erschwert wird. Deshalb musste der Kreuzzylinder häufig mehrfach gedreht werden, bis der Proband entscheiden konnte, welcher Seheindruck der bessere oder schlechtere ist. Sechs der 41 Probanden (15%) fanden den



Abgleich der Zylinderstärke und Achse am Zyklofusionstest einfacher zu beurteilen. Hier wurde vor allem von den Probanden beschrieben, er sei angenehmer mit beiden Augen zu blicken, als ein Auge zu verschließen. Die restlichen Probandenzahlen (29%) haben beide Messmethoden als gleichwertig beschrieben.

#### **6.1.7 Dauer der Messung**

Aus den Zeitmessungen ergibt sich, dass für die monokulare Messung ungefähr 15 Minuten und für den reinen binokularen Abgleich am Zyklofusionstest ca. 9 Minuten eingeplant werden sollten. Für beide Methoden ergaben sich bei einigen Probanden kürzere aber auch längere Prüfzeiten. Für eine komplette Refraktion, d.h. für die Durchführung einer monokularen Refraktion mit einem anschließenden binokularen Abgleich am Zyklofusionstest sollten daher ungefähr 15 Minuten einkalkuliert werden. Am Zyklofusionstest fällt vor allem auf, dass sich bei den Probanden mit keinem simultanen Binokularsehen die Prüfdauer verlängert. Hier musste häufig abgewartet werden bis eine Zeile wieder zu sehen war, oder bis sich die Buchstaben nicht mehr so stark „bewegten“. Durch diese verlängerte Prüfdauer kann es zu Ermüdungserscheinungen kommen. Dies kann zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und der Visus kann sich verschlechtern. Des Weiteren muss der Kunde vor der Messung am Zyklofusionstest richtig eingewiesen werden und aufgeklärt werden, dass die Buchstaben möglicherweise „wackeln“ oder verschoben sind.

### **6.2 Beschreibung von Komplikationen anhand von Einzelfällen**

Bei den Messungen am Zyklofusionstest kam es vereinzelt und in manchen Bereichen sogar vermehrt zu Komplikationen während der Refraktion. Diese Komplikationen sollen nun anhand von Einzelfällen näher betrachtet und verdeutlicht werden.

#### Fallbeispiel 1: Monokularer Visus unter binokularen Bedingungen

Nach der monokularen Refraktion wird auf den Zyklofusionstest gewechselt. Der Test erscheint beim Umschalten in genau der gleichen Visusstufe wie das letzte monokular dargestellte Testzeichen. Nach dem Einsetzen der Polarisationsfilter kam es häufig zu dem Fall, dass die Probanden trotz gleicher Visusstufe die Testzeichen nicht mehr lesen konnten. Je nach Erkennbarkeit wurden dann die Sehzeichen vergrößert. Nach dem binokularen Abgleich von Sphäre, Zylinder und Achse wurde an den Buchstabenzeilen der monokulare Visus unter binokularen Bedingungen geprüft. Hier fällt auf, dass bei 15 von 41 Probanden, der monokulare Visus unter binokularen Bedingungen um mindestens eine Visusstufe schlechter ist, als bei der monokularen Visusprüfung.

Zur Verdeutlichung sind in der unten dargestellten Tabelle die erreichten Visusstufen einer Probandin dargestellt. Es ist zu erkennen, dass der monokulare Visus unter binokularen Bedingungen, bei beiden Messungen um mindestens eine Visusstufe verringert ist.

**Tabelle 9: Refraktionsergebnisse mit Visusangaben (Proband 9)**

		Sphäre	Zylinder	Achse	V <sub>mono</sub>	V <sub>unter binokularen B.</sub>	V <sub>bin</sub>
Monokular	R	-0,50	-4,00	96°	1,25		1,25
	L	-0,25	-3,00	76°	1,25		
Binokular	R	-0,50	-4,25	96°	1,6	1,0	1,6
	L	-0,25	-3,00	76°	1,25	1,0	
Monokular	R	-0,50	-4,25	96°	1,25		1,25
	L	Plan	-3,25	76°	1,25		
Binokular	R	-0,50	-4,25	96°	1,25	1,0	1,25
	L	Plan	-3,25	78°	1,25	1,0	

Eine mögliche Ursache für diesen Effekt könnte das Crowding-Phänomen sein. Einige Probanden konnten die äußeren Buchstaben der Buchstabenreihe erkennen, jedoch nicht die mittleren. Dadurch, dass die Buchstabenzeile von einer weiteren Buchstabenzeile und dem Doppelring umgeben ist, sind die mittleren Buchstaben am schwierigsten zu erkennen. Des Weiteren entsteht durch die monokulare Sehzeichendarstellung ein Wettstreitphänomen. Das heißt die Buchstaben haben keine konstante Schwärze sondern „flackern“. Dies könnte eine weitere Ursache für die Verschlechterung der monokularen Sehschärfe unter binokularen Bedingungen sein.

Wie oben erwähnt wurden dann je nach Erkennbarkeit die Buchstabenzeile und der Doppelring vergrößert. In Fallbeispiel 2 wird ein solcher Fall dargestellt.

#### Fallbeispiel 2: Doppelring und Buchstabenreihe stark vergrößert

Der Proband erreichte in der ersten Messung einen monokularen Visus von 1,25 rechts und links. Da der Proband am Zyklofusionstest diese Visusstufe nicht erkennen konnte wurde die Visusstufe auf 1,0 geändert. Beim sphärischen Feinabgleich unter binokularen Bedingungen konnte der Proband mit dieser Visusstufe keinen Unterschied erkennen, da die Buchstaben für ihn zu klein waren. Mit dem Visus von 0,8 konnte der Proband dann relativ zügig und eindeutig die Antworten für den sphärischen Feinabgleich beantworten. Da der Doppelring von MailShop so programmiert wurde, dass er um 2 Visusstufen größer dargestellt wird wie die Buchstabenzeile, wurde der binokulare Abgleich der Zylinderachse und –stärke folglich bei einem Visus von 0,5 durchgeführt. Die Wendebefragung mit dem Kreuzzylinder ging mit dieser Größe sehr zügig. In der Tabelle 10 sind die Werte des Probanden dargestellt, und es ist zu erkennen, dass die

Refraktionen sehr unterschiedlich sind. Die Messergebnisse sind in den Zielscheibendiagrammen auch als Ausreißer zu erkennen (in der Reproduzierbarkeit als hellgrüner Punkt markiert). Bei der zweiten binokularen Messung führten diese Abweichungen auch zur Visusminderung. Es muss jedoch erwähnt werden, dass es auch bei der monokularen Refraktion zu Veränderungen gekommen ist.

**Tabelle 10: Refraktionsergebnisse (Proband 15)**

		Sphäre	Zylinder	Achse	V <sub>mono</sub>	V <sub>unter binokularen B.</sub>	V <sub>bino</sub>
Monokular	R	-2,00	-2,00	135°	1,25		1,6
	L	-0,50	-3,00	165°	1,25		
Binokular	R	-2,00	-1,75	135°	1,25	1,0	1,6
	L	-0,5	-2,50	164	1,25	1,0	
Monokular	R	-1,75	-2,00	131°	1,25		1,6
	L	-0,5	-2,50	160°	1,25		
Binokular	R	-1,75	-1,75	133°	1,25	1,0	1,25
	L	-0,50	-2,25	158°	1,0	1,0	

Der Abgleich mit dem Kreuzzylinder an einem so stark vergrößerten Sehzeichen, birgt die Gefahr, dass Details übersehen werden. Dadurch können Abweichungen in der Zylinderachse und Zylinderstärke entstehen. Auch der monokulare sphärische Feinabgleich unter binokularen Bedingungen kann mit zu großen Optotypen zu einem abweichenden Ergebnis führen. Die Abweichungen in der binokularen Refraktionen könnten dadurch noch verstärkt werden.

### Fallbeispiel 3: „kein optimales“ Binokularsehen vorhanden

Der Proband hat unter Trennung am Zyklofusionstest meistens nur die obere Zeile sehen können. Zu Beginn wurde das Führungsaue immer wieder abgedeckt um das linke Auge zu reizen. Dieser Versuch blieb jedoch erfolglos. Anschließend wurden die Buchstaben für das linke Auge stark vergrößert. Ab einer gewissen Visusstufe konnte der Proband die Zeile wieder erkennen. Dann wurde die Zeile bis zu der Grenze verkleinert, wo das andere Auge den Seheindruck gerade noch nicht unterdrückt. Dieser Schritt wurde während dem binokularen Abgleich mehrfach wiederholt, da der Seheindruck des linken Auges umso stärker unterdrückt wurde, je länger die Messung dauerte. Der Abgleich von Sphäre, Zylinder und Achse gestaltete sich daher als schwierig. Auch für den Probanden war die Beurteilung schwierig und erforderte eine hohe Konzentration, da die Buchstaben bzw. der Doppelring verschwanden, sobald der

Proband den Fixationspunkt änderte. Diese Schwierigkeiten in der Beurteilung spiegeln sich auch in den Ergebnissen wieder. Der Proband ist in einigen Diagrammen als Ausreißer wieder zu sehen. Des Weiteren haben sich jedoch auch zwischen den beiden monokularen Refraktionsunterschiede für das linke und rechte Auge ergeben.

In der folgenden Tabelle sind die Ergebnisse der Messungen dargestellt. Überraschenderweise hat der Proband, trotz der Anstrengungen während der Refraktion, in der anschließenden Befragung angegeben, dass beide Tests gleich gut zu beurteilen sind.

**Tabelle 11: Refraktionsergebnisse (Proband 12)**

		Sphäre	Zylinder	Achse	V <sub>mono</sub>	V <sub>unter binokularen B.</sub>	V <sub>bino</sub>
Monokular	R	+4,00	-2,50	5°	1,6		1,25
	L	+7,00	-3,75	162°	1,0		
Binokular	R	+4,25	-2,50	10°	1,25	1,25	1,25
	L	+7,25	-3,50	167°	1,25	1,0	
Monokular	R	+4,00	-2,50	5°	1,6		1,25
	L	+7,25	-3,25	165°	1,25		
Binokular	R	+4,00	-2,50	180°	1,6	1,25	1,25
	L	+7,25	-3,25	164°	1,25	1,0	

Resümierend kann angenommen werden, dass bei Probanden mit keinem „guten ausgewogenen“ Binokularsehen, von einem binokularen Abgleich von Zylinderstärke und Achse abgesehen werden sollte, da kein verlässliches Ergebnis entstehen kann. In diesem Fallbeispiel wäre als endgültige Verordnung die monokular gemessene Refraktion heranzuziehen.

### 6.3 Fehlerquellen

Hier sollen Fehlerquellen aufgezeigt werden, die die Vergleichbarkeit der beiden Messmethoden negativ beeinflusst haben könnten.

Um die gewohnte Kopf- und Körperhaltung der Probanden nicht zu beeinflussen, wurden die Messungen mit der Messbrille durchgeführt. Der Gebrauch der Messbrille bringt jedoch auch einige Faktoren mit sich, die die Testergebnisse verfälschen können. Zum einen kann die Messbrille während der Messung verrutschen, zum anderen muss stark darauf geachtet werden, dass der Proband während der gesamten Messung die gleiche Körper- und vor allem Kopfhaltung einnimmt. Des Weiteren ist die Ablesbarkeit der genauen Zylinderachse an der

Messbrille erschwert, da hier nur eine Markierung in 5° Schritten vorliegt. Die genaue Gradzahl kann somit nur geschätzt werden. Beim Ablesen ist darauf zu achten, dass immer aus dem gleichen Blickwinkel die Achse abgelesen wird.

Ein weiterer sich negativ auswirkender Faktor, könnte die lange Messdauer sein. Um tageszeitliche Schwankungen und einen erhöhten Aufwand für die Probanden zu vermeiden, wurden die Messungen an einem Termin durchgeführt. Die gesamte Messdauer lag somit meist bei einer Stunde. Dadurch besteht die Gefahr, dass Ermüdungserscheinungen und eine nachlassende Konzentration vor allem die Messergebnisse aus dem zweiten Durchlauf negativ beeinflussen können. Es war zu beobachten, dass sich die Probanden vor allem im letzten binokularen Abgleich am Zyklofusionstest am meisten konzentrieren mussten.

Des Weiteren ist darauf zu achten, dass der Sehzeichenmonitor, der Spiegel und die Position des Probanden zum Spiegel immer richtig ausgerichtet ist. Dies kann unter anderem dazu führen, dass die Trennung durch die Polarisationsfilter nicht richtig funktioniert. Vor jeder Messung wurde darauf geachtet, dass der Proband die richtige Position zum Projektionsspiegel einnimmt. Jedoch stellte sich heraus, dass ein Polarisationsfilter (rechtes Auge) schlechter trennt als der andere. Einige Probanden beschrieben, dass die Zeile mit dem Trenner blasser ist, während die andere Zeile schwärzer ist. Die Beurteilung während der Messung wird dadurch erschwert. Da jedoch nicht auf Schwärzungsgleichheit geprüft wurde, sollten die Ergebnisse dadurch gar nicht oder nur geringfügig beeinflusst werden. Im Zielscheibendiagramm wurde dies überprüft. Es ist nicht zu erkennen, dass das Auge mit dem „schlechteren“ Polarisationsfilter eine größere Streuung aufweist als das andere Auge.

## 7. Schlussfolgerung

Die Ergebnisse des Versuchs zeigen, dass die Messung am Zyklofusionstest eine ähnlich gute Reproduzierbarkeit vorweist wie die monokulare Refraktion. Die beiden Messmethoden führen außerdem zu einem annähernd gleichwertigen Ergebnis. Die Achslage und die Zylinderstärke verändern sich durch den binokularen Abgleich am Zyklofusionstest nicht relevant. Der binokulare Abgleich am Zyklofusionstest kann somit ergänzend zur monokularen Refraktion angewendet werden, ist jedoch nicht dringend notwendig, um ein optimales Sehen herzustellen. Da das Feld der 3D Refraktion noch ein sehr unbekanntes ist und es noch keine großen Erfahrungswerte gibt, ist auf jeden Fall zu empfehlen, vor der Messung am Zyklofusionstest eine monokulare Refraktionsbestimmung durchzuführen. Die neue 3D Technologie weckt das Interesse der Probanden und erzeugt dadurch eine höhere Aufmerksamkeit während der Refraktion. Diese kann positiv genutzt werden. Jedoch ist es wichtig, dass der Proband vor der Messung richtig eingewiesen wird und die Möglichkeit bekommt, den Test vor der Messung ohne Polarisationsfilter anzuschauen, um sich mit dem Aufbau des Testes vertraut zu machen. Des Weiteren ist zu beachten, dass der monokulare Abgleich unter binokularen Bedingungen am Zyklofusionstest nur durchgeführt werden kann, wenn ein intaktes Binokularsehen vorliegt. Ist das Bild für den Probanden während der Messung zu „unruhig“ oder sind gar bestimmte Teile des Testes nicht zu erkennen, sollte die Messung abgebrochen werden, da dies zu Fehlern in der Beurteilung führt.

Abschließend ist zu sagen, dass der binokulare Abgleich von Sphäre, Zylinder und Achse am Zyklofusionstest eine gute Ergänzung ist und in den Refraktionsablauf mit integriert werden kann. Jedoch löst er nicht die monokulare Refraktion ab, da für jeden binokularen Abgleich eine gute und vernünftige monokulare Basis bestehen sollte.

---

## Literaturverzeichnis

- [1] Diepes, H.: Refraktionsbestimmung  
DOZ-Verlag, 3. Auflage, Heidelberg 2004
- [2] Schendel, D.: Neue Möglichkeiten der Visusoptimierung  
DOZ, Ausgabe 4 – 2001
- [3] Stelzer, L.: Binokulare Messung von Zylinderachsen  
DOZ, Ausgabe 9 – 2013
- [4] Kaufmann, H.: Strabismus  
Ferdinand Enke Verlag, 2. Auflage, Stuttgart 1995
- [5] Passmann, F.: Neuer Test zum Abgleich des Astigmatismus unter binokularen Bedingungen (Teil1)  
Focus, Ausgabe 7/8 – 2013, S. 36,37
- [6] Passmann, F.: Neuer Test zum Abgleich des Astigmatismus unter binokularen Bedingungen (Teil2)  
Focus, Ausgabe 9– 2013, S. 26-29
- [7] Handbuch Polaskop, Version 02.05.2014
- [8] Stelzer L.: Von der Papptafel zum PolaSkop3D Teil (2)  
Focus, Ausgabe 5 – 2014
- [9] Krause, K.: Methoden der Refraktionsbestimmung  
Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Regensburg & Biermann mbH, Münster 1985
- [10] DIN EN ISO 21987:2009: Fertig montierte Korrektionsbrillengläser, Deutsche Fassung EN ISO 21987:2009
- [11] Wesemann, W.: Mathematische Anmerkungen: Welche Beziehung besteht zwischen der normalen sphärozyklindrischen Schreibweise von Korrektionsgläsern und den Zernike-Polynomen?  
DOZ, Ausgabe 3-2005, 40-44
- [12] Grein H.-J., Schmidt, O., Ritsche, A.: Zur Reproduzierbarkeit von Refraktionsbestimmungen  
Ophthalmologe, Ausgabe 11-2014
- [13] Miller, J.M.: Clinical Applications of Power Vectors  
Optometry and Vision Science, Vol.86, No. 6, June 2009
- [14] Wesemann, W.: Funktionsprinzipien und Messgenauigkeit moderner Autorefraktometer  
DOZ, Ausgabe 10-2004

- 
- [15] Ying, G. et al: Associations of Anisometropia with Unilateral Amblyopia, Interocular Acuity Difference and Stereoacuity in Preschoolers  
Ophthalmology, March 2013, Page 495-503
- [16] Harvey E.M.: Measurement of refractive Error in Native American Preschoolers: Validity and Reproducibility of Autorefraction  
Optometry and Vision Science, Vol. 77, No. 3, March 2000
- [17] MacKenzie: Reproducibility of sphero-cylindrical prescriptions  
Ophthal. Pysiol. Opt., Vol 28, 2008, Page 143-150
- [18] Goss, A.; Grosvenor T.: Reliability of refraction – a literature review  
Journal of the American Optometric Association, Vol. 67, No. 10, October 1996
- [19] Keirl, A.; Christie, C.: Clinical Optics and Refraction: A Guide for Optometrists, Contact Lens Opticians and Dispensing Opticians  
Elsevier Health Sciences, 1. Auflage, 2007, Seite 129, 130



## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bildschirmdarstellung eines statischen (links) und dynamischen (rechts) Sehtestes [7].....	9
Abbildung 2: Astigmatismustest nach Schendel (links) und Zyklofusionstest (rechts) [3] .....	10
Abbildung 3: Maddoxzylinder rot und grün .....	12
Abbildung 4: Doppelkreis für den Abgleich der Zylinderstärke und -achse.....	13
Abbildung 5: HUVITZ Charops MRK - 3100 Autorefraktometer.....	17
Abbildung 6: Zuordnung der Sehbereiche beim Zyklofusionstest [3].....	18
Abbildung 7: Ablaufschema der Messungen, erster Durchlauf (dunkelblau) und zweiter Durchlauf (hellblau) .....	19
Abbildung 8: Protokollbogen.....	21
Abbildung 9: Vektorzerlegung der zylindrischen Korrektur [11].....	22
Abbildung 10: Zielscheibendiagramm.....	24
Abbildung 11: Darstellung der gemessenen Häufigkeiten in Abhängigkeit von der Verdrehung der Maddoxzylinder. Die Häufigkeiten werden nach Inzyklophorie und Exzyklophorie unterteilt. (n=41 Probanden/Augenpaare) .....	27
Abbildung 12: Differenz der sphärischen Äquivalente $\Delta M$ ( $M_{\text{mono}} - M_{\text{bino}}$ ) bei der a) 1. und b) 2. Messung .....	28
Abbildung 13: Bland-Altman Plot (n=70) .....	29
Abbildung 14: Vergleich der monokularen Ergebnisse mit den binokularen aus dem 1. Durchlauf a) Darstellung aller Messpunkt b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt.....	31
Abbildung 15: Vergleich der monokularen Ergebnisse mit den binokularen aus dem 2. Durchlauf a) Darstellung aller Messpunkte b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt.....	31
Abbildung 16: Darstellung der Vector Dioptric Distance bei der a) 1. und b) 2. Messung.....	32
Abbildung 17: Differenz der sphärischen Äquivalente $\Delta M$ ( $M_{\text{mono}} - M_{\text{bino}}$ ) bei der a) monokularen und b) binokularen Messung.....	33
Abbildung 18: Reproduzierbarkeit der monokularen Messung a) Darstellung aller Messpunkte b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt .....	35
Abbildung 19: Reproduzierbarkeit der binokularen Messung am Zyklofusionstest a) Darstellung aller Messpunkte b) Darstellung von Zylindern -1,75 dpt bis -2,5 dpt c) Darstellung der Zylinder <-2,5 dpt .....	35
Abbildung 20: Darstellung der Vector Dioptric Distance bei der a) monokularen und b) binokularen Messung.....	36
Abbildung 21: Astigmatismus aus monokularer und binokularer Messung aus dem a) 1. und b) 2. Durchlauf.....	44

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Grenzabweichungen für die Richtung der Zylinderachse [10] mit Angabe der resultierenden Zylinder .....	15
Tabelle 2: Darstellung der auswertbaren Probanden Augen die in den verschiedenen Auswertungen berücksichtigt werden .....	26
Tabelle 3: Darstellung des monokularen Visus (n=82 Augen) .....	37
Tabelle 4: Darstellung des binokularen Visus (n=41 Augenpaare) .....	37
Tabelle 5: Negative Aspekte aus Probandenbefragung (n=25 Probanden).....	38
Tabelle 6: Positive Aspekte aus der Probandenbefragung (n=8 Probanden) .....	38
Tabelle 7: Darstellung der Drehung der Zylinderachse im Zusammenhang zu der Verdrehungsrichtung der Maddoxzylinder in Anlehnung an die DIN EN ISO 21987 und ohne Berücksichtigung der DIN. (n=15 Augen) .....	40
Tabelle 8: Ursachen für die Visusänderungen zwischen der ersten monokularen und binokularen Messung. Wenn sich die binokulare Refraktion von der monokularen um eine VDD von 0,5dpt unterscheidet, gilt diese als „relevant geänderte Refraktion“. (n=82 Augen).....	48
Tabelle 9: Refraktionsergebnisse mit Visusangaben (Proband 9).....	50
Tabelle 10: Refraktionsergebnisse (Proband 15) .....	51
Tabelle 11: Refraktionsergebnisse (Proband 12) .....	52

## Anhang

Berechnung der Grenzbereiche im Zielscheibendiagramm in Anlehnung an die DIN EN ISO21987

Benötigte Formeln:

$$J0 = -\frac{1}{2} C \cdot \cos(2 \cdot A)$$

$$J45 = -\frac{1}{2} \cdot C \cdot \sin(2 \cdot A)$$

$$\Delta J0 = J0_{1. \text{Msg}} - J0_{2. \text{Msg}}$$

$$\Delta J45 = J45_{1. \text{Msg}} - J45_{2. \text{Msg}}$$

$$AD = \sqrt{\Delta J0^2 + \Delta J45^2}$$

Annahme der DIN EN ISO 21987:

*Bei Cyl 2,5dpt 3° Verdrehung*

$$\Delta J0 = \left[ -\frac{1}{2} \cdot -2,5 \cdot \cos(0) \right] - \left[ -\frac{1}{2} \cdot -2,5 \cdot \cos(2 \cdot 3) \right] = 0,01$$

$$\Delta J45 = \left[ -\frac{1}{2} \cdot -2,5 \cdot \sin(0) \right] - \left[ -\frac{1}{2} \cdot -2,5 \cdot \sin(2 \cdot 3) \right] = -0,13$$

$$AD = \sqrt{0,01^2 + (-0,13)^2} = 0,13$$

$$\underline{TAD = 0,26dpt}$$

*Bei Cyl 5,25dpt 2° Verdrehung*

$$\Delta J0 = \left[ -\frac{1}{2} \cdot -5,25 \cdot \cos(0) \right] - \left[ -\frac{1}{2} \cdot -5,25 \cdot \cos(2 \cdot 2) \right] = 0,01$$

$$\Delta J45 = \left[ -\frac{1}{2} \cdot -5,25 \cdot \sin(0) \right] - \left[ -\frac{1}{2} \cdot -5,25 \cdot \sin(2 \cdot 2) \right] = -0,18$$

$$AD = \sqrt{0,01^2 + (-0,18)^2} = 0,18$$

$$\underline{TAD = 0,36dpt}$$